

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Laboratoř pro testování elektromagnetické odolnosti

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Martin CWIENCZEK**
Osobní číslo: **E15N0006K**
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Laboratoř pro testování elektromagnetické odolnosti**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Zpracujte přehled testů elektromagnetické odolnosti pro průmyslová zařízení.
2. Navrhněte laboratoř a vhodné přístrojové vybavení pro tyto testy.
3. Vytvořte zkušební postupy pro testování.
4. Testy proveďte a sepište protokol s výsledky.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

1. Svačina: Encyklopedie elektromagnetické kompatibility
2. ČSN EN 61000-6-2

Vedoucí diplomové práce: Ing. Miroslav Hromádka, Ph.D.
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: 14. října 2016
Termín odevzdání diplomové práce: 19. května 2017


Doc. Ing. J. Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2016

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá návrhem a praktickou realizací zkušební laboratoře EMC se zaměřením na ověřování elektromagnetické odolnosti elektrických zařízení pro průmyslové prostředí dle harmonizované kmenové normy ČSN EN 61000-6-2. Úvodní část diplomové práce shrnuje základní pojmy elektromagnetické kompatibility a uvádí přehled platných norem pro zkoušky odolnosti technických zařízení pro průmyslové prostředí. Vlastní práce je zaměřena na návrh EMC laboratoře včetně přístrojového vybavení pro provedení základních zkoušek elektromagnetické odolnosti dle základních norem vyplývajících z výše uvedené kmenové normy. Laboratoř dle návrhu byla realizována. V navržené laboratoři byla provedena zkouška EMC kompatibility vybraného elektronického přístroje a v souladu s platnou legislativou ČR byl vytvořen zkušební protokol. Získané výsledky byly porovnány s kontrolním měřením stejného přístroje v akreditované laboratoři Fakulty elektrotechnické, Katedry elektroenergetiky a ekologie ZČU v Plzni. V závěru diplomové práce jsou porovnány výsledky měření v obou laboratořích a zhodnocen návrh laboratoře EMC.

Klíčová slova

EMC, EMS, elektromagnetická kompatibilita, odolnost, zkouška odolnosti, zkušební laboratoř, zkušební signál, ČSN EN 61000-6-2

Abstract

The diploma thesis deals with design and practical implementation of EMC testing laboratory with focus on verification of electromagnetic of electrical equipment for industrial environment according to the harmonized standard EN 61000-6-2 standard. The introductory part of the diploma thesis summarizes the basic concepts of electromagnetic compatibility and an overview of the valid standards for testing the immunity of technical equipment for the industrial environment. The main part of the diploma thesis is focused on the design of the EMC laboratory including instrumentation for basic electromagnetic immunity tests according to the basic standards resulting from the above-mentioned generic standards. The laboratory was realized according to the design. The EMC Compatibility Test of the selected electronic device was performed in the proposed laboratory and a test protocol was created in accordance with valid Czech legislation. The obtained results were compared with the measurement of the selected device in the accredited of the Faculty of Electrical Engineering, the Department of Electrical Power Engineering and Ecology of the University of West Bohemia in Pilsen. In the end of the thesis, the results of the measurements in both laboratories and the EMC laboratory design are evaluated.

Keywords

EMC, EMS, Electromagnetic compatibility, law, immunity tests, testing laboratory, testing signals, ČSN EN 61000-6-2

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software použitý při řešení této diplomové práce je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 16.5.2017

Martin Cwienzek

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Miroslavu Hromádkovi, Ph.D., za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	11
ÚVOD.....	12
1 ZÁKLADNÍ POJMY A NORMALIZACE V EMC	13
1.1 Základní pojmy elektromagnetické kompatibility EMC	13
1.1.1 Obecné schéma EMC řetězce technických systémů a zařízení	14
1.1.2 Členění EMC	15
1.2 Normalizace v EMC	15
1.2.1 Druhy norem	15
1.2.2 Legislativa EMC v České republice	16
1.2.3 Popis kmenové normy ČSN EN 61000-6-2 - zkoušky EMS.....	17
1.2.3.1 Referenční dokumenty kmenové normy	17
1.2.3.2 Specifické termíny a definice kmenové normy.....	18
1.2.3.3 Kritéria vyhodnocení elektromagnetické odolnosti	18
1.2.3.4 Metodika zkoušek elektromagnetické odolnosti.....	19
1.3 Základní požadavky na laboratoř EMS a její vybavení.....	19
2 PŘEHLED EMC TESTŮ PRO PRŮMYSLOVÉ PROSTŘEDÍ.....	21
2.1 Elektrostatický výboj ČSN EN 61000-4-2	21
2.1.1 Generátor ESD	21
2.1.2 Zkušební úrovně napětí.....	22
2.1.3 Návrh pracoviště pro testování	23
2.2 Vyzářované VF elektromagnetické pole ČSN EN 61000-4-3	24
2.3 Rychlé přechodové jevy/skupiny impulzů ČSN EN 61000-4-4.....	25
2.3.1 Zkušební úrovně	25
2.3.2 Generátor skupin impulzů.....	25
2.3.3 Vazební a oddělovací síť	27
2.3.4 Kapacitní vazební kleště	28
2.3.5 Zkušební podmínky	28
2.4 Rázový impulz ČSN EN 61000-4-5	29
2.5 Rušení vedením, indukované vysokofrekvenční pole ČSN EN 61000-4-6	30
2.6 Magnetické pole síťového kmitočtu ČSN EN 61000-4-8	31
2.7 Zkouška odolnosti vůči pulzům magnetického pole ČSN EN 61000-4-9	32
2.8 Odolnosti vůči poklesům a pomalým změnám ČSN EN 61000-4-11.....	32
2.8.1 Krátkodobé poklesy a přerušení napětí.....	32
2.8.2 Pomalé změny napětí	34
3 NÁVRH LABORATOŘE A JEHO VYBAVENÍ.....	35
3.1 Klimatické podmínky	36
3.2 Elektromagnetické podmínky.....	36
3.3 Vybavení laboratoře	38

4	ZKUŠEBNÍ POSTUP	39
4.1	Provozní podmínky zkoušeného zařízení	39
4.1.1	Provozní režim	39
4.1.2	Provozní podmínky	39
4.1.3	Software zkoušeného zařízení během zkoušky	39
4.1.4	Specifikace funkčních vlastností	39
4.1.5	Popis zkoušky	39
4.2	Požadavek na odolnost	40
4.2.1	Podmínky během zkoušky	40
4.3	Výsledky zkoušky a měřicí protokol	40
5	ZKUŠEBNÍ PLÁN EMC	41
5.1	Úvod	41
5.2	Klimatické podmínky	41
5.3	Popis zařízení	41
5.4	Zkoušky odolnosti	41
5.4.1	Odolnost vůči elektrostatickým výbojům ČSN EN 61000-4-2	41
5.4.1.1	Sestava zkušebního zařízení	41
5.4.1.2	Schéma pracoviště	42
5.4.1.3	Zkušební úrovně napětí	42
5.4.1.4	Postup	43
5.4.1.5	Vyhodnocení zkoušky	44
5.4.2	Odolnost vůči nízkoenergetickým impulzům ČSN EN 61000-4-4	44
5.4.2.1	Sestava zkušebního zařízení	44
5.4.2.2	Schéma pracoviště	44
5.4.2.3	Zkušební úrovně napětí	44
5.4.2.4	Postup	45
5.4.2.5	Kalibrace generátoru	46
5.4.2.6	Kalibrace kapacitních vazebních kleští	47
5.4.2.7	Vyhodnocení zkoušky	48
5.4.3	Odolnost vůči vysokoenergetickým impulzům ČSN EN 61000-4-5	48
5.4.3.1	Sestava zkušebního zařízení	48
5.4.3.2	Schéma pracoviště	49
5.4.3.3	Zkušební úrovně napětí	49
5.4.3.4	Postup	49
5.4.3.5	Vyhodnocení zkoušky	50
5.4.4	Odolnost vůči krátkodobým poklesům napětí ČSN EN 61000-4-11	50
5.4.4.1	Sestava zkušebního zařízení	50
5.4.4.2	Schéma pracoviště	50

5.4.4.3	Zkušební úrovně napětí	50
5.4.4.4	Postup	51
5.4.4.5	Vyhodnocení zkoušky	51
6	PROTOKOL.....	52
6.1	Test odolnosti	54
6.1.1	Test odolnosti proti elektrostatickému výboji	54
6.1.2	Test odolnosti zařízení vůči elektrickému rychlému přechodovému jevu	55
6.1.3	Test odolnosti zařízení vůči rázovému impulzu	56
6.1.4	Test odolnosti zařízení proti krátkodobému poklesu napětí	56
6.2	Výsledky zkoušek.....	56
7	ZÁVĚR.....	57
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	58
	SEZNAM OBRÁZKŮ	59
	SEZNAM TABULEK.....	59
	PŘÍLOHA.....	61

Seznam symbolů a zkratk

EMC	elektromagnetická kompatibilita
EMI	elektromagnetické rušení
EMS	elektromagnetická odolnost
EUT	testované zařízení
ČSN EN	česká technická norma, verze evropské normy
GPR	referenční zemní rovina
ESD	elektrostatický výboj
VCP	svislá vazební rovina
HCP	vodorovná vazební rovina
IEC	označení mezinárodních norem v elektrotechnice
CEN	evropský výbor pro normalizaci
CENELEC	evropská komise pro normalizaci v elektrotechnice
ÚNMZ	úřad pro technickou normalizaci
CISPR	označení mezinárodních norem v elektrotechnice pro rádiové rušení
DIN	německý institut pro normalizaci

Úvod

Provoz narůstajícího počtu různých elektrických a elektronických zařízení má za následek vznik různých nežádoucích rušivých elektromagnetických signálů, které ztěžují, popřípadě znemožňují správnou funkci okolních zařízení. V extrémních případech mohou tyto rušivé elektromagnetické signály způsobit přechodné nebo trvalé poruchy okolních přístrojů. Oblast elektrotechniky, která se obecně zabývá schopností elektrických zařízení nebo systémů současně koexistovat s jinými technickými (či biologickými systémy) ve společném elektromagnetickém prostředí bez narušení jejich funkčnosti, se nazývá elektromagnetická kompatibilita – EMC.

Laboratorní ověřování elektromagnetické kompatibility zařízení je tedy důležitou součástí vývoje zařízení před jeho uvedením na trh nebo do provozu.

Diplomová práce se zabývá návrhem a praktickou realizací zkušební laboratoře EMC se zaměřením na ověřování elektromagnetické odolnosti elektrických zařízení pro průmyslové prostředí dle kmenové normy ČSN EN 61000-6-2.

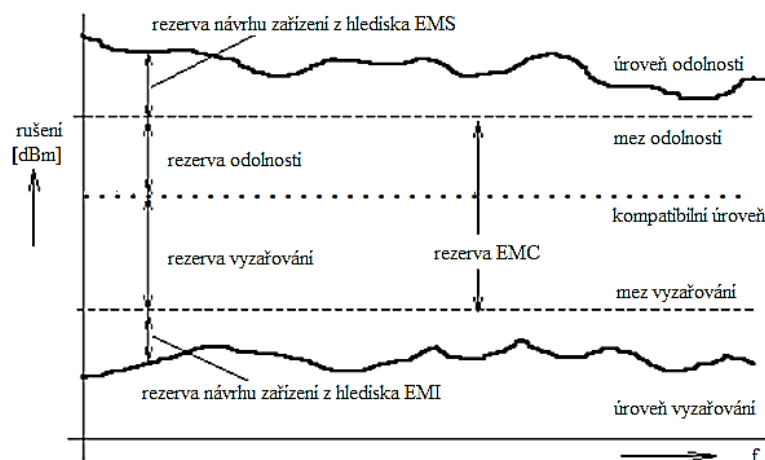
Navrhovaná laboratoř bude sloužit pro účely vývoje elektrických zařízení, a není tudíž řešena legislativní návaznost protokolů na předpisy EU (2014/30/EU) a nařízení vlády č. 117/2016 o Posuzování shody výrobků z hlediska EMC při uvádění na trh.

Úvodní kapitola práce se zabývá shrnutím základních pojmů v oblasti EMC, specifikací průmyslového prostředí a vyjmenováním platných norem pro EMS výrobků pro průmyslové prostředí. V následující kapitole 2 jsou popsány jednotlivé zkoušky dle norem odvozených z výše uvedené kmenové normy. Kapitola 3 se zabývá praktickým návrhem zkušební laboratoře EMS. Definiuje přístrojové vybavení, prostorové rozmístění pracovišť a nezbytné konstrukční a stavební úpravy prostoru laboratoře. Kapitola 4 a 5 specifikuje zkušební postup EMC zkoušky vybraného elektronického přístroje. Kapitola 6 uvádí výsledky zkoušek vybraného zařízení provedené v EMC laboratoři Fakulty elektrotechnické ZČU v Plzni a v navržené EMC laboratoři. Závěrečná kapitola provádí celkové zhodnocení výsledků diplomové práce.

1 Základní pojmy a normalizace v EMC

1.1 Základní pojmy elektromagnetické kompatibility EMC

Definice všech základních pojmů a názvosloví v oblasti elektromagnetické kompatibility EMC, použitých v této práci, jsou uvedeny v harmonizované normě ČSN IEC 50 (161): Mezinárodní elektrotechnický slovník, kapitola 161: Elektromagnetická kompatibilita. Z obecného hlediska EMC se každé zařízení nebo systém, popřípadě jeho část může stát jak zdrojem, tak i přijímačem rušení. Obecná harmonizovaná norma ČSN IEC 1000-1-1 pro tato zařízení definuje základní pojmy – viz Obr. 1.



Obr. 1 EMC úrovně. [1]

Úroveň vyzařování je úroveň rušivého signálu generovaného daným zařízením, který je měřený předepsaným způsobem. Vyjadřuje se v [dBm] v závislosti na kmitočtu.

Mez vyzařování je normami přípustná maximální úroveň vyzařování produkovaného daným zařízením. Rozdíl mezi úrovní vyzařování a mezí vyzařování označujeme jako rezervu daného zařízení z pohledu EMI. Vyjadřuje se v [dB].

Úroveň odolnosti je maximální úroveň rušení působící na dané zařízení, při němž nedochází ke zhoršení funkce daného zařízení.

Mez odolnosti je normami požadovaná minimální úroveň odolnosti daného zařízení. Rozdíl mezi úrovní odolnosti a mezí odolnosti označujeme jako rezervu daného zařízení z pohledu EMS. Vyjadřuje se v [dB].

Rezerva EMC je rozdíl mezi úrovní odolnosti a úrovní vyzařování daného zařízení.

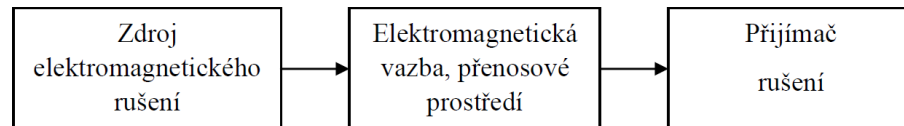
Úroveň kompatibility je úroveň rušení, při které je dosaženo přijatelně vysoké elektromagnetické kompatibility. [1]

1.1.1 Obecné schéma EMC řetězce technických systémů a zařízení

Při zkoumání technického systému nebo zařízení z hlediska EMC tvoří toto zařízení řetězec, který má tři základní části:

- Zdrojem elektromagnetického rušení mohou být například svařovací stroje, polovodičové měniče, spínače, relé, měřící a výpočetní technika, elektrostatické výboje apod.
- Přenosové prostředí elektromagnetického rušení, kterým je například vzdušný prostor, napájecí rozvody, datová a signálová vedení, kryty přístroje, zemnicí spoje apod.
- Rušené zařízení neboli přijímač rušení je vlastní zařízení ovlivňované elektromagnetickým rušením. Tuto část řetězce tvoří zařízení výpočetní techniky, radiová a telekomunikační zařízení, měřící a řídicí zařízení apod.

EMC řetězec je uveden na Obr. 2. [1]



Obr. 2 Obecné schéma EMC řetězce. [1]

První částí EMC řetězce jsou zdroje elektromagnetického rušení. Obecně se dělí na přírodní a umělé zdroje rušení. Přírodní zdroje jsou například fyzikální procesy na Slunci, elektrické procesy v atmosféře a podobně. Umělé zdroje jsou nejrůznější technická zařízení vytvořená lidskou činností. Například různá elektrická a elektronická zařízení, komunikační zařízení apod.

Druhou částí EMC řetězce je přenosové prostředí. Ta je tvořena elektromagnetickým přenosovým prostředím a vazbami s rušeným zařízením.

Třetí část EMC řetězce vytváří samotný objekt neboli přijímač rušení. Tato oblast EMC se zabývá klasifikací typů rušení a jejich účinků na zařízení. Na základě analýzy se pak určuje elektromagnetická odolnost technického zařízení nebo systému. [1]

1.1.2 Členění EMC

Celou oblast EMC rozdělujeme dále na dvě základní části – elektromagnetické interference neboli rušení označované EMI a elektromagnetickou susceptibilitu neboli imunitu označovanou EMS.

Elektromagnetickou interferencí EMI označujeme proces, při kterém se rušivý signál generovaný zdrojem rušení přenáší prostřednictvím elektromagnetické vazby do rušeného zařízení. EMI se tedy zabývá technickými opatřeními na straně zdrojů rušení, které snižují úroveň rušivých signálů. Zabývá se tedy příčinami rušení a jejich odstraňováním.

Elektromagnetickou susceptibilitou označujeme schopnost zařízení pracovat bez poruch nebo s přípustným přesně definovaným vlivem na zařízení, které se nachází v prostředí s elektromagnetickým rušením. EMS se tedy zabývá technickými opatřeními, která zvyšují elektromagnetickou imunitu zařízení. Zabývá se tedy odstraňováním důsledků rušení. [1]

1.2 Normalizace v EMC

Na celosvětové mezinárodní úrovni je zastřešující organizací Mezinárodní elektrotechnická komise IEC, která vytváří veškeré elektrotechnické normy a předpisy včetně oblasti EMC. Organizace IEC je součástí Mezinárodní organizace pro standardizaci ISO. V rámci IEC se problematikou EMC zabývá specializovaný výbor pro radiovou interferenci CISPR. Jeho publikované dokumenty jsou ve značné míře základem národních norem. V rámci IEC se problematikou EMC rovněž zabývá specializovaná technická komise TC77 pro EMC mezi Elektrickými zařízeními průmyslových sítí.

V současné době se v rámci Evropské unie problematikou normalizace zabývá komise CEN a CENELEC, která se zabývá harmonizací národních (ČSN, DIN, BS, ...) a mezinárodních norem (IEC, CISPR). V České republice je normalizací pověřen Úřad pro normalizaci a zkušebnictví ÚNMZ. [4]

1.2.1 Druhy norem

Pro oblast EMC rozlišujeme dva základní druhy norem, vojenské normy a normy civilní.

Vojenské normy pro EMC vycházejí z americké normy MIL-STD 462, které se rozšířily prostřednictvím organizace NATO i do Evropy. Základním charakteristickým znakem vojenských norem EMC je, že měření EMC je založeno na detekci špičkových hodnot elektromagnetického rušení oproti detekci kvazi-špičkových nebo středních hodnot v civilních

EMC normách. Dále se tyto vojenské normy liší obvykle vyššími úrovněmi elektromagnetické odolnosti a nižšími hodnotami elektromagnetického vyzařování a širšímu kmitočtovému rozsahu měření oproti civilním normám EMC.

Civilní normy pro EMC jsou založeny na doporučení CISPR. V rámci EU se problematikou normalizace v oblasti EMC zabývá komise CENELEC, speciálně technická komise TC110. Na základě dohody přebírá tato komise mezinárodní normy IEC a normy CISPR beze změn a zároveň přijímá návrhy na vypracování norem nových. [4]

Podle charakteru norem se tyto dělí na:

- Základní normy (Basic Standards), které definují problematiku EMC a určují základní podmínky pro dosažení EMC u libovolného technického produktu. Nestanovují však žádné konkrétní meze rušení nebo meze odolnosti. Mezi základní normy EMC patří například ČSN EN 61000-1-2 Metodika pro dosažení funkční bezpečnosti.
- Kmenové normy (Generic Standards), které specifikují minimální soubor požadavků jak pro emise (EMI), tak i pro odolnost (EMS) a testovacích metod EMC pro všechna technická zařízení pracující v určitých elektromagnetických prostředích, jako je obytné prostředí, průmyslové prostředí apod. Příkladem kmenové normy pro oblast EMC jsou například ČSN EN 61000-6-1, ČSN EN 61000-6-2, ČSN EN 61000-6-3, ČSN 61000-6-4.
- Předmětové normy (Product Standards) jsou normy, které podrobně definují požadavky a testovací metody EMC pro jednotlivé skupiny technických výrobků a zařízení. Tyto normy jsou v souladu se základními a kmenovými normami EMC. Předmětové normy jsou použitelné pro skupiny výrobků jako například průmyslová zařízení s výjimkou zařízení informační techniky, zařízení informační techniky a telekomunikační techniky, lékařská zařízení apod. [4]

1.2.2 Legislativa EMC v České republice

Kmitočtové spektrum je společný statek, který cíleně využívá velké množství různých subjektů. Cílené využívání kmitočtového spektra však lze neúmyslně ovlivnit rušivými signály jiných zdrojů. Proto je nutno zavést normativní ochranná opatření zajišťující u technických zařízení vzájemnou elektromagnetickou kompatibilitu. K tomu slouží legislativní nařízení pro oblast EMC. V rámci Evropské unie obecně platí Směrnice evropského parlamentu 2014/30/EU o harmonizaci právních předpisů členských států týkající se elektromagnetické

kompatibility. Na základě této směrnice vstoupilo od dubna 2016 v platnost Nařízení vlády č. 117 o posuzování shody výrobků z hlediska elektromagnetické kompatibility při jejich dodávání na trh. [4]

1.2.3 Popis kmenové normy ČSN EN 61000-6-2 - zkoušky EMS

Zkoušky elektromagnetické odolnosti EMS technického zařízení určeného pro nasazení v průmyslovém prostředí se provádí dle harmonizované české technické normy *ČSN EN 61000-6-2:2006 ed. 3 Elektromagnetická kompatibilita (EMC): Kmenová norma – Odolnost pro průmyslové prostředí* [12]. Tato norma se vztahuje na elektrické a elektronické přístroje určené pro průmyslové prostředí v kmitočtovém rozsahu 0 Hz až 400 GHz, napájené z transformátoru VN /VVN pro dodávku síťového napětí do průmyslového závodu či objektů v jejich blízkosti. Kmenová norma se použije, jestliže neexistuje jiná odpovídající norma pro odolnost odpovídajícího výrobku či skupiny výrobků. Průmyslovým prostředím ve smyslu této normy rozumíme prostředí vnitřní nebo vnější, které je charakteristické častým spínáním velkých induktivních nebo kapacitních zátěží a popřípadě vysokými proudy, které produkují silná magnetická pole. Do průmyslového prostředí rovněž zahrnujeme také prostředí, ve kterém se vyskytují průmyslové, vědecké a lékařské přístroje podle definice v dokumentu CISPR 11.

Předmětem této normy je stanovení požadavků na zkoušku odolnosti přístrojů, definovaných v předmětu normy ve vztahu k rušení spojitému a tranzientnímu, šířeného vedením a zářením, včetně elektrostatických výbojů. [12]

1.2.3.1 Referenční dokumenty kmenové normy

Pro použití této kmenové normy jsou nezbytné tyto referenční dokumenty – normy:

- ČSN IEC 61000-4-2 Elektromagnetická kompatibilita (EMC): Zkušební a měřicí technika, Elektrostatický výboj – zkouška odolnosti;
- ČSN IEC 61000-4-3 Elektromagnetická kompatibilita (EMC): Zkušební a měřicí technika, Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole – zkouška odolnosti;
- ČSN IEC 61000-4-4 Elektromagnetická kompatibilita (EMC): Zkušební a měřicí technika, Rychlé elektrické přechodné jevy/skupiny impulzů – zkouška odolnosti;
- ČSN IEC 61000-4-5 Elektromagnetická kompatibilita (EMC): Zkušební a měřicí technika, Rázový impulz – zkouška odolnosti;

- ČSN IEC 61000-4-6 Elektromagnetická kompatibilita (EMC): Zkušební a měřicí technika, Odolnost proti rušení šířené vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli;
- ČSN IEC 61000-4-8 Elektromagnetická kompatibilita (EMC): Zkušební a měřicí technika, Magnetické pole síťového kmitočtu – zkouška odolnosti;
- ČSN IEC 61000-4-11 Elektromagnetická kompatibilita (EMC): Zkušební a měřicí technika, Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí – zkouška odolnosti. [12]

1.2.3.2 Specifické termíny a definice kmenové normy

Pro kmenovou normu platí obecné termíny a definice uvedené v normě ČSN IEC 50 (161). Kromě těchto termínů kmenová norma zavádí další pojmy:

- *Vstup/výstup* je konkrétní rozhraní zařízení s elektromagnetickým prostředím.
- *Vstup/výstup krytem přístroje* je fyzická hranice, kterou může elektromagnetické pole vnikat nebo vyzařovat.
- *Vstup/výstup kabelu* je bod, ve kterém je vodič nebo kabel připojen.
- *Vstup/výstup svorkami signálů* je místo, kam je připojen kabel určený pro přenos signálů.
- *Vstup/výstup napájením* je místo, kam je připojen vodič nebo kabel primárního napájení přístroje. [12]

1.2.3.3 Kritéria vyhodnocení elektromagnetické odolnosti

Kmenová norma ČSN EN 61000-6-2 ed. 3 nestanovuje přesná kritéria pro zkoušky elektromagnetické odolnosti. Obecně platí: Jestliže v důsledku provedení zkoušek odolnosti se zařízení stane nezpůsobilým nebo nebezpečným, pak přístroj zkoušce odolnosti nevyhověl.

Funkční popis zařízení a definice kritérií hodnocení zkoušek EMC nebo jejich důsledek musí být dodán výrobcem zařízení. Pro zkoušky elektromagnetické odolnosti, uvedené v tabulkách 1 až 4 této kmenové normy, musí být hodnocení založeno na těchto kritériích:

Funkční kritérium A – Zařízení musí pracovat nepřetržitě během zkoušky a i po ní dle své specifikace. Není přípustné zhoršení činnosti či ztráta funkce zařízení pod úroveň stanovenou výrobcem.

Funkční kritérium B – Zařizování po zkoušce musí pracovat nepřetržitě. Během zkoušky je přípustné dočasné zhoršení nebo ztráta funkce zařízení pod úroveň stanovenou výrobcem.

Funkční kritérium C – Je dovoleno dočasné zhoršení nebo ztráta funkce zařízení za předpokladu, že se tato funkce po skončení zkoušky obnoví sama, nebo může být obnovena činností řídicího systému nebo operátora.
[12]

1.2.3.4 Metodika zkoušek elektromagnetické odolnosti

Zkoušené zařízení musí být zkoušeno v provozním režimu, při kterém se předpokládá největší citlivost na elektromagnetické rušení při normálním používání zařízení. Je-li zkoušené zařízení součástí rozsáhlejšího systému, pak se zkouší v minimální reprezentativní konfiguraci pomocných přístrojů. V případech s explicitním požadavkem výrobce na použití ochranných zařízení se pak zkoušky provádějí s tímto zařízením. Zkoušky se provádějí při jednom souboru klimatických podmínek a napájecím napětím specifikovaným pro daný výrobek.

Aplikace zkoušek odolnosti závisí na konkrétním zkoušeném zařízení, jeho konfiguraci, vstupu/výstupu, technologickém provedení a provozních podmínkách.

Zkoušky se musí provádět na příslušných vstupech/výstupech zařízení podle tabulek 1 až 4 kmenové normy ČSN EN 61000-6-2, a to pouze tam, kde příslušné vstupy/výstupy existují. Tabulka 1 kmenové normy definuje zkoušky odolnosti vstupu/výstupu krytem přístroje, tabulka 2 definuje zkoušky odolnosti vstupu/výstupu svorkami signálů, tabulka 3 definuje zkoušky odolnosti vstupu/výstupu DC napájením a tabulka 4 definuje zkoušky odolnosti vstupu/výstupu AC napájením. S ohledem na elektrické charakteristiky a použití konkrétního zařízení se nemusí některé zkoušky provádět z důvodu nevhodnosti. V tomto případě je nutný záznam do zkušební protokolu.

Popis zkoušky, zkušební generátor, zkušební metoda a uspořádání jsou uvedeny v základních normách, na které se v tabulkách odkazuje.

Zkoušky se provádějí dobře definovaným a reprodukovatelným způsobem. Provádějí se postupně a v libovolném pořadí. [12]

1.3 Základní požadavky na laboratoř EMS a její vybavení

Z legislativního pohledu bude laboratoř EMS sloužit podle §10, Nařízení vlády 117/2016 Sb. O posuzování shody výrobků z hlediska elektromagnetické kompatibility, pro zkoušky vyvíjeného nebo vyráběného zařízení při interním řízení výroby ve výrobním závodě

(procesní Modul A nebo C). Protokoly zkoušek odolnosti, vystavené laboratořím, musí plně vyhovovat tomuto nařízení a ostatním platným předpisům.

Laboratoř musí být situována do místa budovy s minimalizovaným vlivem externího rušivého elektromagnetického pole, popřípadě zde musí být provedeny úpravy k potlačení uvedeného vlivu.

Laboratoř musí být vybavena klimatizačním zařízením, které zaručí konstantní klimatické podmínky po dobu provádění všech předepsaných zkoušek elektromagnetické odolnosti zařízení.

Laboratoř musí být dostatečně prostorná pro bezproblémovou manipulaci se zkoušeným zařízením a bezpečný pohyb obslužného personálu.

V laboratoři musí být vytvořena specializovaná pracoviště k provedení zkoušek elektromagnetické odolnosti dle požadavků kmenové normy a z ní vyplývajících základních norem. Přístrojové vybavení specializovaných pracovišť musí umožňovat bezproblémové provedení zkoušek odolnosti. [2]

2 Přehled EMC testů pro průmyslové prostředí

V této kapitole je uveden přehled zkoušek odolnosti z kmenové normy ČSN EN 61000-6-2, včetně popisu testovacích zkušebních signálů pro tyto zkoušky. Aplikace jednotlivých zkoušek pro posouzení odolnosti závisí na konkrétním přístroji, jeho konfiguraci, jeho vstupech/výstupech, jeho technologickém provedení a jeho provozních podmínkách. [2]

2.1 Elektrostatický výboj ČSN EN 61000-4-2

Zkouškou se ověřuje odolnost elektrického zařízení vůči elektrostatickým výbojům. Elektrostatický výboj (ESD) vzniká mezi dvěma body s odlišným elektrostatickým potenciálem, přičemž dochází ke spontánnímu výboji v podobě proudového impulzu. Ve velmi krátké době přeskočí elektrický výboj s vysokým napětím a proudem. Následkem elektrostatického výboje může dojít k poškození či ovlivnění elektrického zařízení.

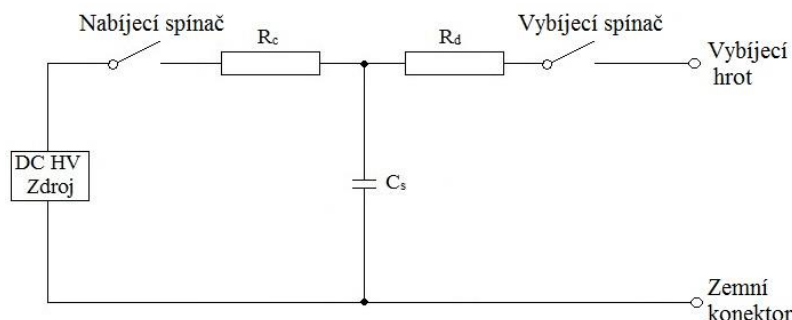
Zkouška odolnosti se provádí pomocí generátoru vysokého napětí (simulátoru ESD). Těchto tzv. ESD pistolí je celá řada provedení. ESD pistole může být připojená přes napájecí kabel ke zdroji vysokého napětí, nebo se skládá z akumulátoru a generátoru impulzů. ESD pistole má vyměnitelné vybíjecí hroty. Provedení ESD pistole je na Obr. 3. [1]



Obr. 3 Pistole ESD. [1]

2.1.1 Generátor ESD

Generátor napěťového impulzu se skládá z akumulačního kondenzátoru C_s a vybíjecího odporu R_d . Kondenzátor se nabíjí stejnosměrným napětím na hodnotu až 15 kV. Při výboji se kondenzátor vybije do zkoušeného zařízení přes odpor R_d . Na Obr. 4 je zjednodušené schéma zapojení. [7]



Obr. 4 Zjednodušené schéma generátoru. [7]

Velikost a časový průběh vybíjecího proudu závisí především na způsobu provedení vlastního výboje do zkoušeného zařízení. Norma ČSN EN 61000-4-2 předepisuje tři druhy zkušebních výbojů:

- výboj vzduchovou mezerou;
- kontaktní výboj;
- nepřímý výboj na svislou nebo vodorovnou vazební desku. [7]

2.1.2 Zkušební úrovně napětí

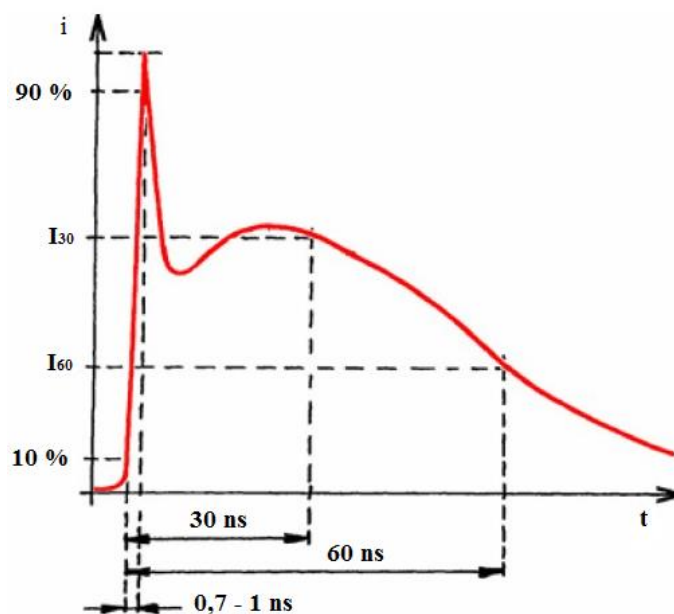
Pro zkoušku kontaktním a vzduchovým výbojem se používá jiná hodnota napětí z důvodu odlišnosti testu. Při výboji vzduchovou mezerou do zařízení se zkouší všechny úrovně napětí od nejnižší až po maximální stanovenou úroveň. Při kontaktním výboji používáme rovnou hodnotu napětí pro maximální stanovenou úroveň. Jednotlivé úrovně odolnosti a jim odpovídající velikosti zkušebního napětí jsou v Tab. 1. Úroveň napětí je určena především druhem pracovního prostředí, v němž je či bude zkoušené zařízení provozováno. [7]

Tab. 1 Úroveň zkoušeného napětí. [7]

Kontaktní výboj		Vzduchový výboj	
Úroveň	Testovací napětí [±kV]	Úroveň	Testovací napětí [±kV]
1	2	1	2
2	4	2	4
3	6	3	8
4	8	4	15
x ^a	>8	x ^a	>15

Poznámka: 1) Definice třídy X viz norma ČSN EN 61000-4-2

Výboj vzduchovou mezerou a kontaktem se provádí do míst na zařízení, která jsou přístupná obsluze při běžném užívání. Jedná se o místa na ovládacím panelu a klávesnici, kovové části a přístupné konektory. Do těchto předem vybraných míst se provede minimálně deset výbojů pomocí ESD pistole. Interval mezi výboji by měl být nejméně 1 s z důvodu zjištění funkčnosti zkoušeného zařízení. ESD pistole má vyměnitelný hrot. Přímá vazba se provádí kontaktním výbojem do přístupných kovových povrchů EUT pomocí sondy s ostrým hrotem. Nepřímou vazbu vzduchovým výbojem do nekovových přístupných povrchů EUT se aplikuje sondou s kulovým hrotem. Průběh vybíjecího proudu je na Obr. 5. [5]



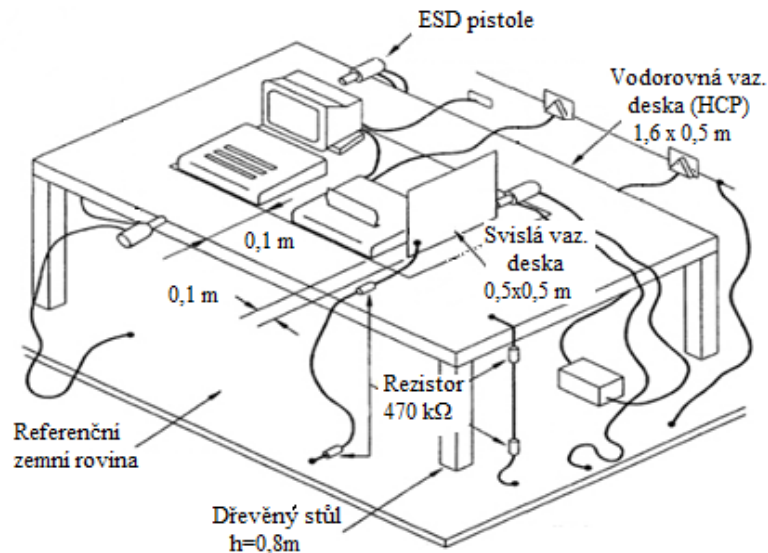
Obr. 5 Definovaný tvar impulzu proudu z generátoru. [5]

2.1.3 Návrh pracoviště pro testování

Pracoviště se skládá z dřevěného stolu a referenční zemní roviny. Stůl je vysoký 80 cm a je umístěn na referenční rovině. Jedná se o kovovou podlahu připojenou k systému uzemnění. Jako materiál se používá měď nebo hliník o minimální tloušťce 0,25 mm. Referenční rovina je daná velikostí stolu tak, aby vazební desku stolu přesahovala minimálně o 50 cm na všechny strany. Mezera mezi zkoušeným zařízením a stěnou laboratoře je nejméně 1 metr. [7]

Horizontální vazební deska HCP (Horizontal Coupling Plane) o rozměrech 160 x 80 cm tvoří horní plochu stolu. Deska je připojená k zemní rovině vodičem, na jehož každém konci je rezistor o hodnotě 470 k Ω . [7]

Svislá vazební deska VCP (Vertical Coupling Plane) má rozměr 0,5 x 0,5 m a je položená společně se zařízením na izolované podložce o minimální tloušťce 0,5 mm. Deska je připojená k zemní rovině vodičem, na jehož každém konci je rezistor o hodnotě 470 k Ω . [7]



Obr. 6 Zkušební sestava zařízení umístěného na stole. [7]

2.2 Vyzařované VF elektromagnetické pole ČSN EN 61000-4-3

Zkouškou se ověřuje odolnost elektrických a elektronických zařízení vůči vyzařované elektromagnetické energii. Norma definuje postup a zkušební úrovně pro testování odolnosti elektrického zařízení vůči působení vysokofrekvenčních elektromagnetických polí. Magnetická rušivá pole mohou být generována například přístroji, jako je vysílač/přijímač používaný personálem zajišťujícím provoz, televizní vysílače, vysílačky v automobilech a různé průmyslové elektromagnetické zdroje.

Zkouška se provádí v bezodrazové komoře pomocí vysokofrekvenčního signálového generátoru, zesilovače, antény atd. Toto vybavení není součástí návrhu laboratoře pro EMC, proto není nutné zkoušku dále popisovat. [5]

2.3 Rychlé přechodové jevy/skupiny impulzů ČSN EN 61000-4-4

Norma se týká požadavku na odolnost elektrického zařízení vůči rychlým přechodovým jevům, které vznikají při spínání indukčních zátěží, odskakování kontaktů relé, příp. při spínání vysokonapěťových vypínačů. Zkouška se provádí pomocí generátoru impulzu, který generuje skupinu impulzů (tzv. rychlé tranzienty – bursty). Impulz má vysokou amplitudu, krátkou dobu náběhu, vysoký opakovací kmitočet a celkově malou energii. Zavádí se do vstupů/výstupů napájení, řízení, signálu a uzemnění elektrického a elektronického zařízení. Impulzy vytváří vysokofrekvenční elektromagnetické rušení. [5]

2.3.1 Zkušební úrovně

Jednotlivé úrovně by měly být vybrány podle pracovního prostředí, v němž je či bude zkoušené zařízení provozováno. Tyto úrovně jsou uvedeny v Tab. 2. [8]

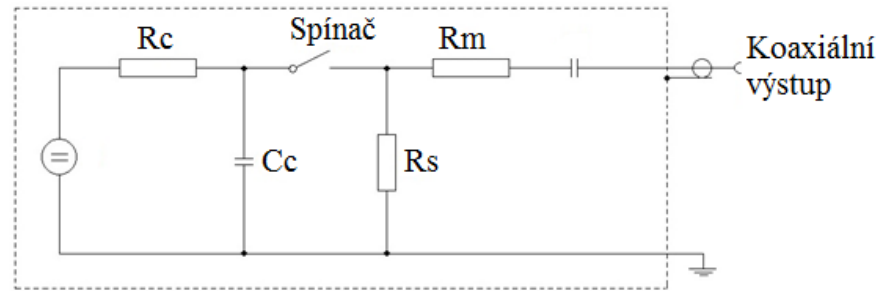
Tab. 2 Zkušební úrovně. [8]

Výstupní zkušební napětí naprázdno a opakovací kmitočet impulzů				
Úroveň	Vstupy/výstupy napájení, uzemnění		Signálové a ovládací vstupy/výstupy	
	Vrcholové napětí [\pm kV]	Opakovací kmitočet [kHz]	Vrcholové napětí [\pm kV]	Opakovací kmitočet [kHz]
1	0,5	5 nebo 100	0,25	5 nebo 100
2	1	5 nebo 100	0,5	5 nebo 100
3	2	5 nebo 100	1	5 nebo 100
4	4	5 nebo 100	2	5 nebo 100
X	Speciální	Speciální	Speciální	Speciální

Poznámka: 1) Definice třídy X viz norma ČSN EN 61000-4-4

2.3.2 Generátor skupin impulzů

Zjednodušené náhradní schéma zapojení generátoru je na Obr. 7. Prvky obvodu C_c , R_s , R_m a C_d jsou navrženy tak, aby generátor vyráběl rychlé přechodové změny. Efektivní výstupní impedance zkušebního generátoru musí být 50 Ω . [8]



Obr. 7 Zjednodušené schéma generátoru impulzů. [8]

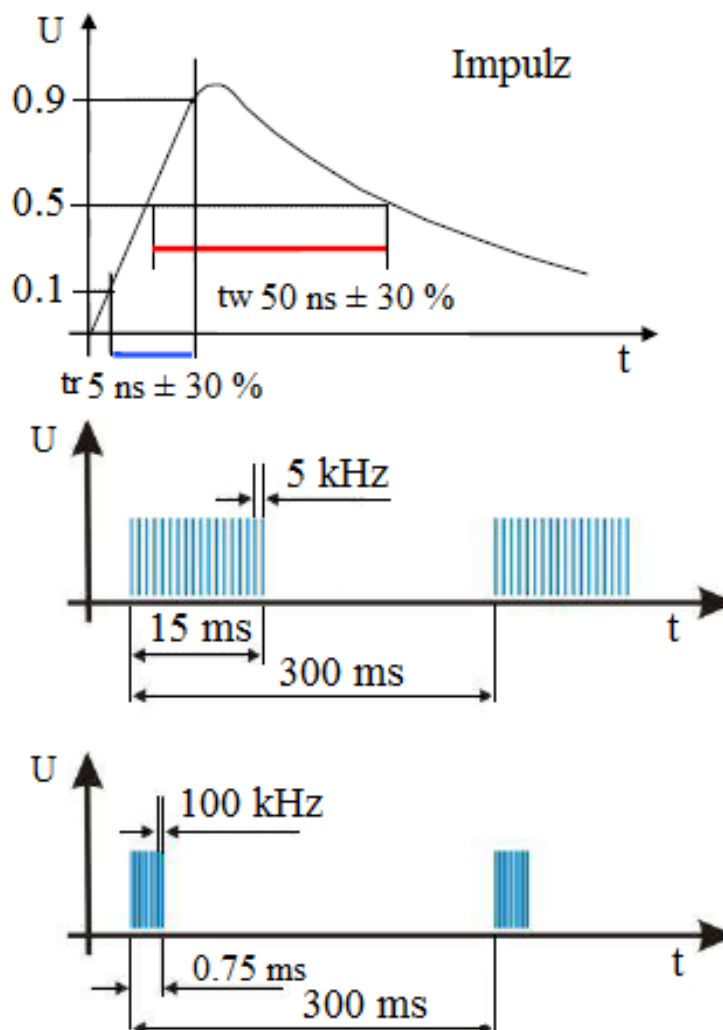
Na Obr. 8 je znázorněn rušivý signál, který je definovaný normou ČSN EN 61000-4-4 a skládá se z přesně definovaných skupin impulzů. Tvarem se podobá napěťovému impulzu blesku, liší se časovým průběhem. Náběžná hrana impulzu je 5 ns a jeho délka je 50 ns. Opakovací kmitočet impulzů je 5 kHz nebo 100 kHz. Počet impulzů ve skupině je stejný, skupina se opakuje po 300 ms. Velikost impulzu je od 0,5 kV do 4 kV podle požadované úrovně. Generátor musí být schopen pracovat bez poškození v zapojení nakrátko. [8]

Charakteristiky generátoru rychlých přechodových jevů/skupin impulzů jsou:

- rozsah výstupního napětí se zátěží 1000 Ω musí být alespoň 0,24 kV až 3,8 kV
- rozsah výstupního napětí se zátěží 50 Ω musí být alespoň 0,125 kV až 2 kV

Tab. 3 Tvar vlny impulzu. [8]

Zátěž 50 Ω	doba náběhu $t_r = 5 \text{ ns} \pm 1,5 \text{ ns}$
	šířka náběhu $t_w = 50 \text{ ns} \pm 15 \text{ ns}$
	vrcholové napětí = podle tabulky 2, $\pm 10 \%$
Zátěž 1000 Ω	doba náběhu $t_r = 5 \text{ ns} \pm 1,5 \text{ ns}$
	šířka náběhu $t_w = 50 \text{ ns}$ s tolerancí -15 ns až +100 ns
	vrcholové napětí = podle tabulky 2, $\pm 20 \%$



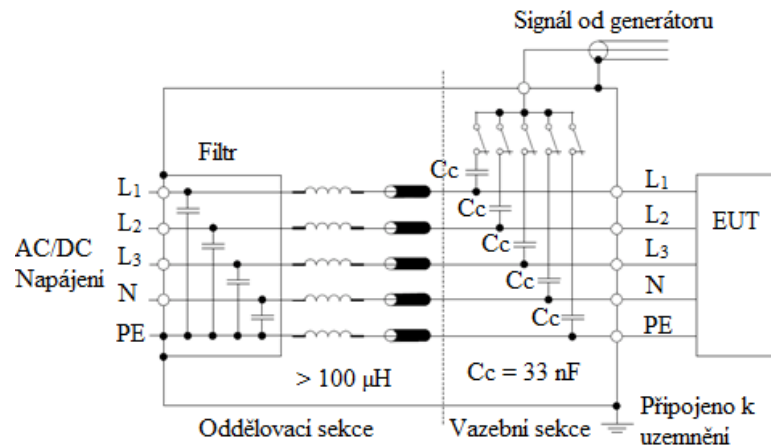
Obr. 8 Znáornění elektrického rychlého přechodového impulsu. [1]

2.3.3 Vazební a oddělovací síť

Před zkouškou je třeba stanovit, jakým způsobem dostaneme zkušební (rušivý) signál do zkoušeného zařízení, tedy do jeho napájecího přívodu, signálových či datových částí, případně k dalším vstupům. Vazební a oddělovací obvod označovaný jako CDN (Coupling-Decoupling Network) plní dvě funkce:

- Funkce vazební umožňuje přenést zkušební signál z generátoru impulsu do vstupů zkoušeného zařízení v požadovaném pásmu kmitočtů. Dokáže blokovat zpětný vliv síťového nebo signálního napětí zařízení na generátor. Zkoušené zařízení je při zkoušce odolnosti v provozním stavu včetně přivedených vstupních signálů.
- Funkce oddělovací zabraňuje zpětnému šíření zkušební (rušivého) signálu do vnější napájecí, signálové či datové sítě připojené ke zkoušenému zařízení. Tato vazba zajišťuje, že zkušební signál bude působit pouze na testované zařízení. Současně je

vylouen i vliv impedance vnější sítě na tvar či velikost generovaného zkušebního signálu. [8]



Obr. 9 Vazební/oddělovací síť pro síťové napájení AC/DC. [8]

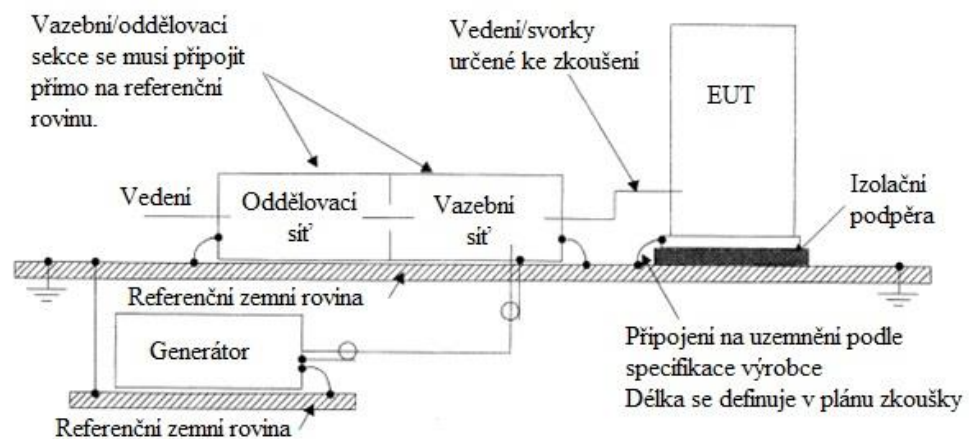
2.3.4 Kapacitní vazební kleště

Kapacitní vazební kleště se používají u některých testů odolnosti k zavedení rušivých signálů (impulzů) do signálových, datových, řídicích, ale i napájecích vedení zkoušeného zařízení. Kleště umožňují zavést rušivý signál od zařízení bez galvanického spojení. Kleština se skládá ze dvou paralelních vodorovných kovových desek o délce 1 m a vzdálených od sebe 10 cm (pomocí izolačních podpěr). Do horní desky se pomocí výklopného systému vkládají kabely, případně svazek kabelů. Sevření kabelů v mechanismu musí být co největší, aby se dosáhlo maximální vazební kapacity mezi kabelem a kleštěmi. Kleště mají na obou koncích vysokonapěťový koaxiální konektor pro připojení generátoru signálu. Generátor se připojuje ke kleštím tak, aby byl co nejbliže ke zkoušenému systému. Signál se z generátoru přivádí mezi kovové desky pomocí koaxiálního kabelu, který je maximálně 1 m dlouhý. Kapacitní kleština je během zkoušky umístěná na zemní kovové rovině o ploše nejméně 1 m², která přesahuje kleště na všechny strany nejméně o 0,1 m. [8]

2.3.5 Zkušební podmínky

Zkoušené zařízení musí být umístěno na referenční zemní rovině, pokud není stanoveno jinak. Mezi zkoušeným zařízením a referenční rovinou je izolační podložka o síle 1 ±0,05 m včetně nevodivých válečků/koleček. Zkušební generátor a vazební/oddělovací síť

musí být připojena k referenční zemní rovině. Její minimální rozměry jsou 0,8 m x 1 m o tloušťce 0,25 mm a musí být z kovového plechu. Referenční zemní rovina se z bezpečnostních důvodů spojuje s ochranným vodičem PE. Kabele vedoucí ke zkoušenému zařízení se nesmí dotýkat referenční roviny. Zkoušené zařízení se připojuje k uzemňovacímu systému v souladu se specifikací výrobce, jiné spojení není dovoleno. Vzdálenost při testování na stole je mezi zkoušeným zařízením a vazebními prostředky 0,5 ±0,1 m, při zkoušení na podlaze je vzdálenost 1 ±0,1 m. Návrh zkušební sestavy pro laboratorní zkoušky je uveden na Obr. 10. [8]



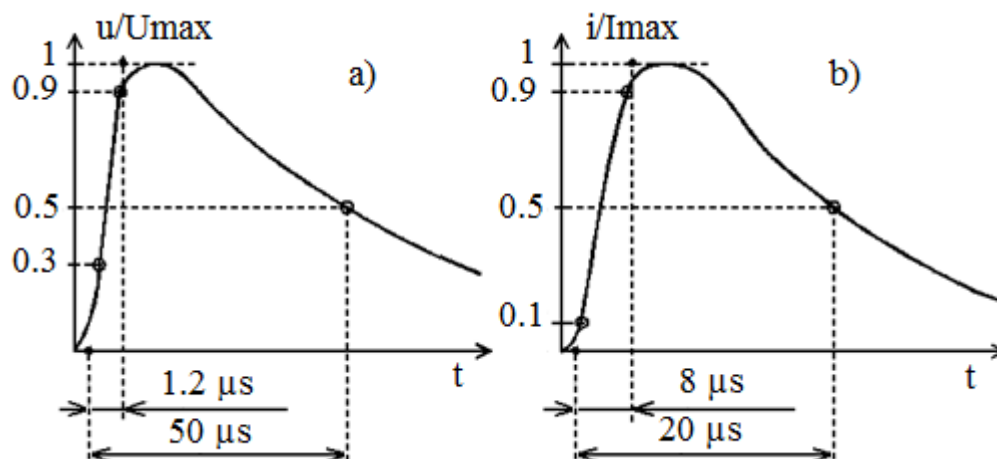
Obr. 10 Blokové schéma pro zkoušku rychlých přechodných jevů. [8]

2.4 Rázový impulz ČSN EN 61000-4-5

Při zkoušce ověřujeme odolnost zařízení vůči rázovým vysokoenergetickým napěťovým a proudovým impulzům (SURGE), které vznikají při úderu blesku do elektrické sítě. Impulzy mohou mít energii až 50 J o šířce pásma 1 MHz. Takto velké energetické impulzy mohou způsobit škody na elektrickém zařízení i bez galvanické vazby jen vlivem elektromagnetické indukce. Vlivem rozdílné impedance zdroje a zkoušeného zařízení vznikají dva druhy impulzů:

- Velká vstupní impedance na napájecích svorkách zařízení vůči výstupní impedanci zdroje vytváří napěťový impulz na svorkách zařízení;
- naopak malá vstupní impedance vůči zdroji vytváří proudový impulz na svorkách zkoušeného zařízení. [3]

Pro zkoušení se používá generátor kombinované vlny, který je pro napěťový impulz ve stavu naprázdno a pro proudový ve stavu nakrátko. Napěťový impulz má tvar 1,2/50 μs a amplitudu 0,5 – 4 kV, proudový impulz má tvar 8/20 μs a amplitudu 0,25 – 2 kA. Zkouška odolnosti se provádí s pěti kladnými a pěti zápornými impulzy s minutovým odstupem. Impulzy se liší dobou náběhu a sestupu. Průběhy impulzů jsou na Obr. 11. [9]



Obr. 11 Zkušební signál rázového impulzu a) napětí b) proudu. [1]

Zkušební úrovně se vybírají podle konkrétního zařízení a místa instalace či prostředí. Napěťové úrovně jsou v Tab. 4.

Tab. 4 Zkušební úrovně. [9]

Úroveň	Zkušební napětí naprázdno [$\pm\text{kV}$]	
	Mezi vodiči	Mezi vodiči a uzemněním
1	-	0,5
2	1	1
3	2	2
4	4	4
X	Speciální	Speciální

Poznámka: 1) Definice třídy X viz norma ČSN EN 61000-4-5

2.5 Rušení vedením, indukované vysokofrekvenční pole ČSN EN 61000-4-6

Norma definuje odolnost elektrického zařízení vůči elektromagnetickému rušení šířící se po vedení. Zdrojem rušení mohou být jak vysokofrekvenční vysílače v kmitočtovém rozsahu od 150 kHz do 80 MHz, tak svářečky, tyristorové měniče, zářivky atd. Rušivý signál se šíří po napájecích a signálových vedeních a zemnicích spojení. Přívodní vodiče zařízení se chovají

jako pasivní přijímací anténní síť. Citlivé zařízení je pak vystaveno proudům protékajícím přes zařízení mezi kabelovými sítěmi. [1]

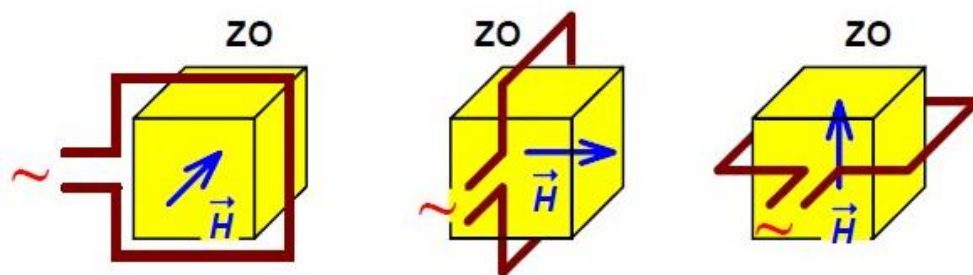
Zkoušené zařízení je pak vystaveno zdroji rušení obsahující elektrické a magnetické pole, které je následkem napětí a proudu vytvořené zkušební sestavou. Zkouška se provádí pomocí vysokofrekvenčního generátoru a oddělovací vazby. Toto vybavení není součástí návrhu laboratoře pro EMC, proto není potřeba zkoušku dále popisovat. [1]

2.6 Magnetické pole síťového kmitočtu ČSN EN 61000-4-8

Norma popisuje požadavek na odolnost elektrického zařízení vůči magnetickým polím vznikajících v blízkosti síťových vodičů, výkonových transformátorů a jiných přístrojů. Magnetické pole je buď harmonické o síťovém kmitočtu vyvolané provozním proudem, nebo pulzní s krátkou dobou trvání vznikající zkratovým proudem či poruchou. [5]

Spojité či pulzní magnetické pole se vytvoří pomocí zkušební generátoru a indukční cívky. Proud protékající cívkou vytvoří magnetické pole, které se na zkoušené zařízení aplikuje ponornou metodou. Cívka musí být vyrobená z vodivého magnetického materiálu (měď, hliník) s intenzitou pole odpovídající vybrané zkušební úrovni a s definovanou homogenitou pole $\pm 3\text{dB}$. [10]

Jednozátvitová indukční cívka pro testování malých zařízení na stole má čtvercový tvar o straně 1 m. Potom generované homogenní magnetické pole s tolerancí 3 dB má rozměr jen 60 x 60 x 50 cm. Návrh cívky a zařízení je na Obr. 12. [10]



Obr. 12 Indukční cívka pro zkoušky malého objektu. [5]

Zkušební laboratoř je sice vybavená kombinovaným generátorem, který umí provést tuto zkoušku odolnosti, ale pro tento druh zkoušky je ještě zapotřebí induktivní cívky a proudového transformátoru. V laboratoři se nebude provádět tato zkouška, proto není nutné zkoušku dále popisovat.

2.7 Zkouška odolnosti vůči pulzům magnetického pole ČSN EN 61000-4-9

Norma popisuje zkoušku pro testování odolnosti elektrického zařízení vůči magnetickému pulznímu rušení. Pulzní magnetické pole vzniká při úderu blesku do budovy a jiné kovové konstrukce (anténní stožár) nebo v rozvodnách velmi vysokého napětí při spínání vysokonapěťových sběrnic. [5]

Zkouška se provádí podobně jako v předchozí kapitole 2.6. Rozdíl je ve tvaru impulzu magnetického pole, který generuje přímo kombinovaný generátor v režimu surge. Magnetický impulz má tvar 6,4/16 μs a to odpovídá tvaru impulzu 8/20 μs . Zkouška se provádí na zařízení, které je instalováno v elektrických výrobnách a rozvodnách. [5]

Laboratoř nebude vybavená cívkou, pouze kombinovaným generátorem (NX5), proto není potřeba zkoušku dále popisovat.

2.8 Odolnosti vůči poklesům a pomalým změnám ČSN EN 61000-4-11

Poklesy a krátká přerušení napětí mohou být způsobeny zapínáním velkých odběrů nebo zkratovými poruchami a následnou funkcí ochran (např. opětovného zapínání). Tyto poruchy mohou pocházet z odběratelských sítí, z veřejných rozvodných sítí nebo mohou být způsobeny atmosférickými vlivy. Poklesy napětí a krátká přerušení napětí mohou rušit zařízení připojená do rozvodné sítě. [5]

Tyto poruchy způsobují vypínání stykačů, změny rychlosti nebo zastavování motorů, nesprávnou funkci polovodičových měničů či ztrátu dat v pamětech počítačů. Poruchy mají nahodilý průběh a je tak těžké je simulovat. Norma definuje metody zkoušky odolnosti a velikost krátkodobých poklesů napětí, krátkých přerušení a pomalých změn napětí. Tato norma platí pro elektrická zařízení připojená do sítě nízkého napětí. Norma platí pro zařízení připojená do střídavé sítě 50 Hz a fázového proudu do 16 A. [5]

2.8.1 Krátkodobé poklesy a přerušení napětí

Zkušební úrovně napětí je v % z napájecího napětí pro zařízení. Zkouška krátkodobého poklesu a přerušení napájecího napětí se provádí skokově při libovolném fázovém úhlu síťového napětí. Z plného napětí 100 % na hodnotu 0 %, 40 %, 70 % a 80 % s dobou trvání 0,5; 1; 5; 10; 25; nebo 250 period síťového napětí. Zkušební úrovně pro krátkodobé poklesy napětí jsou v Tab. 5, příklad je na Obr. 13 a Obr. 14. Zkouška krátkého přerušení napájecího napětí má definované úrovně v Tab. 6 a příklad je na Obr. 15. [11]

Tab. 5 Zkušební úrovně a doby trvání pro krátkodobé poklesy napětí. [11]

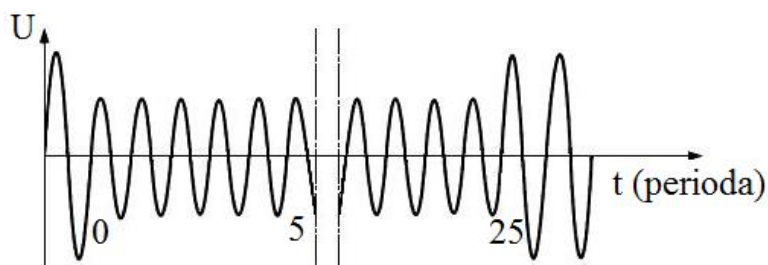
Třída	Zkušební úrovně a doba trvání pro krátké poklesy napětí (50 Hz)				
Třída 1	Případ od případu podle požadavků zařízení				
Třída 2	0 % během ½ periody	0 % během 1 periody	70 % během 25 period		
Třída 3	0 % během ½ periody	0 % během 1 periody	40 % během 10 period	70 % během 25 period	80 % během 250 period
Třída X	X	X	X	X	X

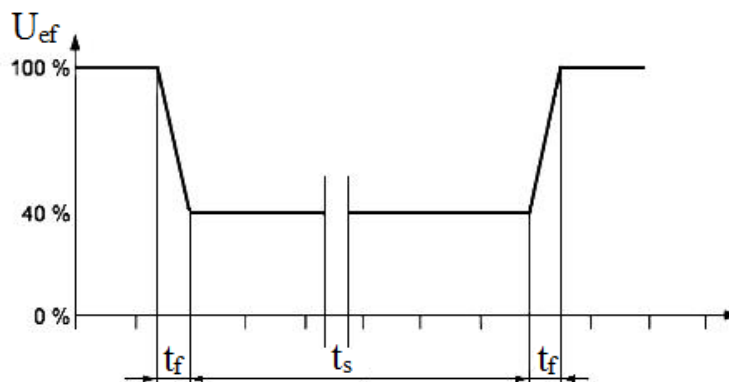
Poznámka: 1) Definice třídy X viz norma ČSN EN 61000-4-11

Tab. 6 Zkušební úrovně a doby trvání pro krátkodobá přerušení napětí. [11]

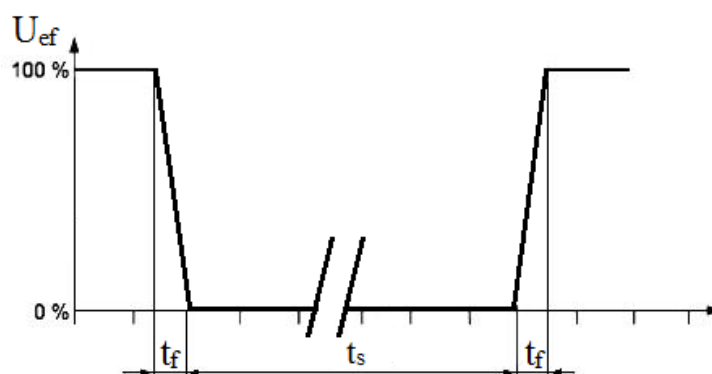
Třída	Zkušební úrovně a doba trvání pro krátká přerušení napětí (50 Hz)
Třída 1	Případ od případu podle požadavků zařízení
Třída 2	0 % během 250 period
Třída 3	0 % během 250 period
Třída X	X

Poznámka: 1) Definice třídy X viz norma ČSN EN 61000-4-11

**Obr. 13** Krátkodobý pokles napětí – průběh sinusoidy na 70 %. [11]



Obr. 14 Krátkodobý pokles napětí – průběh efektivní hodnoty na 40 %. [11]



Obr. 15 Krátké přerušení. [11]

2.8.2 Pomalé změny napětí

Zkouška na pomalé změny napětí je pouze doporučena. Mohou se vyskytovat přístroje, které jsou více citlivé na postupné změny napájecího napětí než na náhlé změny. Zařízení se zkouší na všechny specifikované změny napětí. Ke kolísání napětí v síti dochází vlivem spínání velkých zátěží. Zkušební úrovně v Tab. 7 odpovídají reálným krátkodobým poklesům v napájecí síti. Rychlost změny napětí by měla být konstantní. Změna napětí se provádí při průchodu sinusoidy nulou. [5]

Tab. 7 Časové hodnoty krátkodobých pomalých změn síťových napětí. [11]

Zkušební úroveň napětí	Doba klesání napětí (td)	Doba sníženého napětí (ts)	Doba stoupání napětí
70 %	strmý přechod	1 perioda	25 period
X	X	X	X

Poznámka: 1) Definice třídy X viz norma ČSN EN 61000-4-11

3 Návrh laboratoře a jeho vybavení

Požadavkem je vybudovat laboratoř, která bude sloužit pro účely vývoje elektrických zařízení. Laboratoř je určena pro testování zařízení napájených z transformátoru jednofázové sítě 230 V/50 Hz se spotřebou do 16 A, určených pro průmyslové prostředí dle kmenové normy ČSN EN 61000-6-2. Z normy jsou vybrány nejzákladnější zkoušky odolnosti:

- ČSN EN 61000-4-2;
- ČSN EN 61000-4-4;
- ČSN EN 61000-4-5;
- ČSN EN 61000-4-11.

Společným prvkem pro všechny vybrané zkoušky je referenční zemní rovina a dřevěný stůl. Všechny zkoušky budou probíhat převážně na stole, proto je důležité zvolit dostatečně velkou měřicí plochu, její minimální rozměry jsou definované normou.

Pro zkoušku elektrostatickým výbojem je zapotřebí ESD pistole. Nejvhodnější na obsluhu a manipulaci je akumulátorová pistole Dito s vyměnitelnými hroty. Její maximální výstupní napětí je 15 kV s vazbou 150 pF/300 Ω. Další požadavky na vybavení jsou popsány v kapitole 2.1.

Zkouška odolnosti na rychlé elektrické přechodové jevy se provádí pomocí kombinovaného generátoru umístěného na stole. Z vazební vodorovné desky z předchozí zkoušky se po připojení zemního kabelu stane referenční zemní rovina. Kombinovaný generátor doplníme o kapacitní kleštinu pro aplikaci rušivých signálů do vodičů. Popis měření je popsán v kapitole 2.3.

Zkouška rázovým impulzem se provádí také pomocí kombinovaného generátoru. Zkoušené zařízení je připojené ke generátoru a leží na izolované podložce o tloušťce 0,1 m. Vodorovná vazební deska je rovněž zemní rovinou. Více v kapitole 2.4.

Poslední zkouškou odolnosti, kterou je možné provést pomocí kombinovaného generátoru Compact NX5, jsou krátkodobé poklesy a výpadky napětí. K této zkoušce je nutný regulovatelný autotransformátor pro změnu napětí, které se řídí z generátoru. Sestava je umístěná na stole. Popis měření je popsán v kapitole 2.8.

Pro laboratoř je nutné vyčlenit samostatnou místnost, nejlépe bez oken a co nejdále od výroby, aby nedocházelo k vzájemnému rušení, preventivně zde umístíme okolo pracoviště plechovou stěnu, která účinně potlačí elektromagnetické rušení. Místnost musí být vybavena klimatizačním zařízením, které zaručí konstantní klimatické podmínky po dobu provádění všech předepsaných zkoušek elektromagnetické odolnosti zařízení.

Laboratoř je vhodné rozdělit na dvě zóny, v jedné vybudovat pracoviště na měření a v druhé administrativní pracoviště. Měřicí pracoviště by mělo mít vlastní rozvod elektrické energie s rozvodnou skříní. Kolem pracoviště namontovat lištu se zásuvkami v dostatečném počtu. Zásuvky spínat přes hlavní spínač, v případě defektu pracoviště vybavit tlačítkem stop. Na pracovišti mít alespoň dva uzemňovací body. Provoz pracoviště signalizovat vhodně umístěným světlem. Monitorovat pohyb lidí na pracovišti prezenční listinou. Návrh laboratoře je na Obr. 16. [1], [5]

3.1 Klimatické podmínky

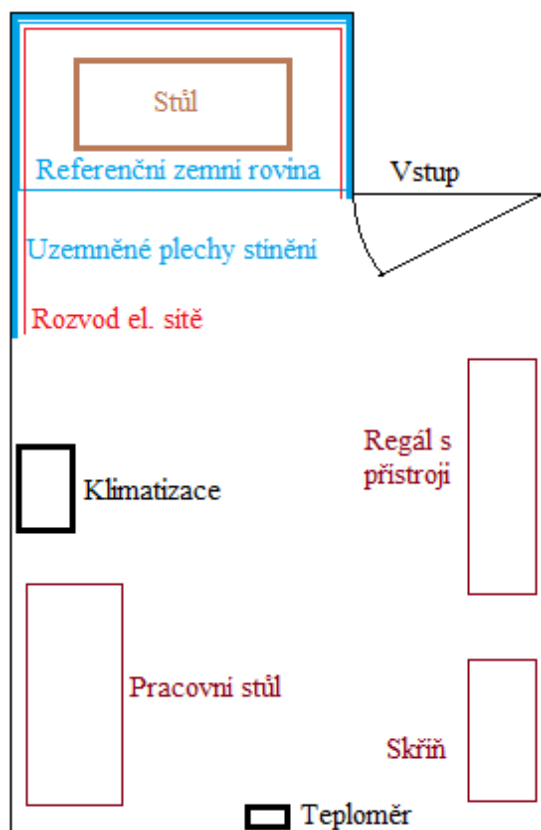
Klimatické podmínky jsou určeny vnitřním předpisem závodu, pokud není nutné nastavit dle požadavku zkoušeného zařízení.

- okolní teplota $23\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$
- relativní vlhkost $40\% \pm 20\%$ r. v.
- atmosférický tlak okolí

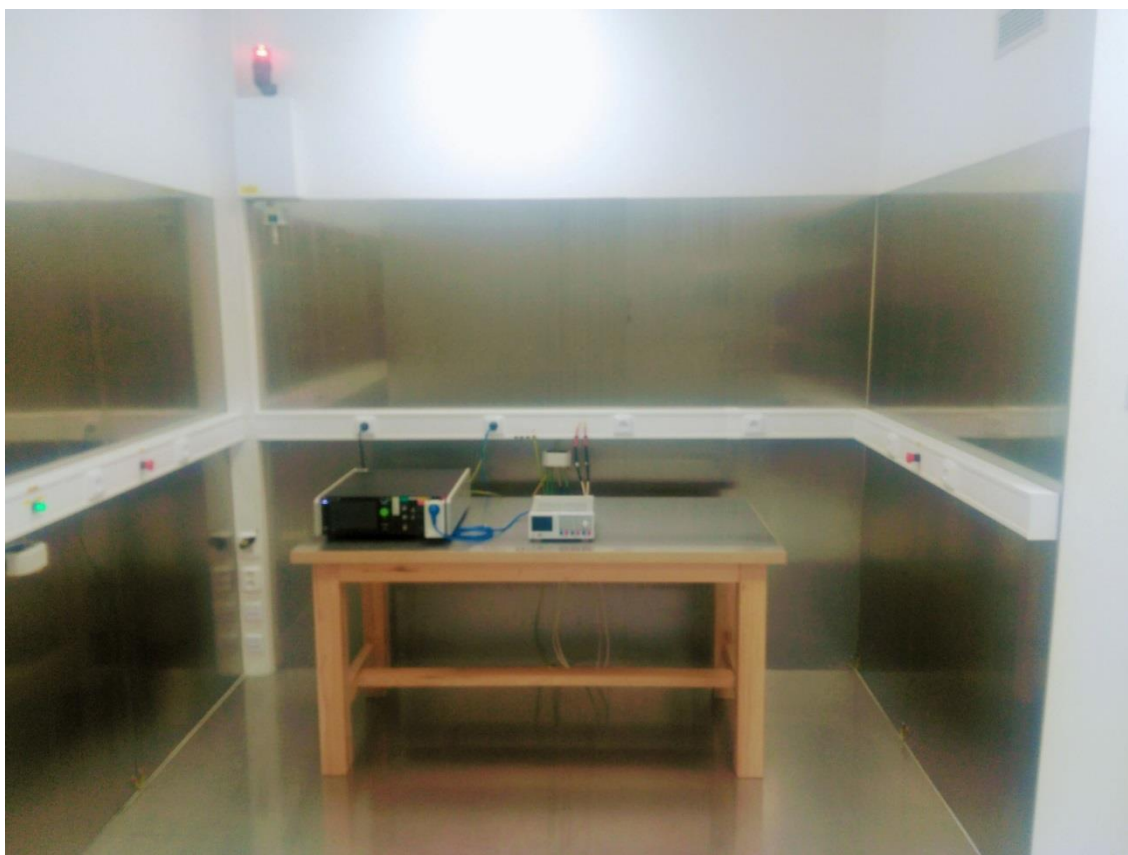
3.2 Elektromagnetické podmínky

Aby nedocházelo k ovlivňování výsledku zkoušky, je vhodné splnit následující kroky:

- oddělit od výroby a okolních vlivů;
- vlastní přívod elektrické energie 230 V / 16 A, nejlépe přes oddělovací transformátor;
- stěny v blízkosti pracoviště pokryt plechem (přizemnit);
- vybrat vhodné osvětlení;
- v laboratoři používat jen přístroje, které jsou nezbytně nutné pro měření.



Obr. 16 Návrh EMC laboratoře.



Obr. 17 Navržená EMC laboratoř.

3.3 Vybavení laboratoře

- referenční zemní rovina 2600 x 1800 mm (plech nerez 1 mm);
- horizontální vazební deska 1600 x 800 mm (plech nerez 1 mm);
- vertikální vazební deska 500 x 500 mm (plech nerez 1 mm);
- dřevěný stůl 1800 x 800 mm, výška 800 mm (dřevo dub);
- 2krát kabel s rezistorem 470 k Ω ;
- izolační podložka 1000 x 600 x 5 mm (technický plast ERTALON 6 SA);
- ESD pistole EM TEST DITO SET;
- multifunkční generátor Compact NX5;
- kapacitní kleště CA HFK;
- kalibrační CA EFT KIT pro kapacitní kleště (50R a 1000R);
- autotransformátor V 4780 S2;
- osciloskop.

4 Zkušební postup

Požadavkem zkoušky je zjistit odolnost elektrického zařízení vůči elektromagnetickému rušení, které je vytvořeno zkušebním generátorem rušivého signálu a simuluje prostředí, ve kterém bude zařízení pracovat. Kmenová norma ČSN EN 61000-6-2 je určena pro průmyslové prostředí a definuje zkoušky odolnosti pro testované zařízení. Požadavky na zkoušky odolnosti:

- zkušební plán;
- složení zkoušeného zařízení;
- sestava zkoušeného zařízení;
- pomocné zařízení;
- všechny vstupy/výstupy;
- kategorie požadované odolnosti zařízení a přípustné rušivé účinky.

4.1 Provozní podmínky zkoušeného zařízení

4.1.1 Provozní režim

Zkoušené zařízení se testuje v normálním provozním stavu a sledují se jeho funkce. Musí se vybrat ty funkce, u kterých se předpokládá zhoršení stavu.

4.1.2 Provozní podmínky

Zkouška se musí provádět v rozsahu pracovního prostředí, které stanovil výrobce (teplota, vlhkost, atmosférický tlak), a se jmenovitým napájecím napětím a kmitočtem.

4.1.3 Software zkoušeného zařízení během zkoušky

Software použitý pro simulaci různých režimů provozu se musí zdokumentovat. Tento software představuje nejhorší provozní režim pro běžné provozní podmínky.

4.1.4 Specifikace funkčních vlastností

Je nutné stanovit funkční vlastnosti přístroje pro každou zkoušku zvlášť a tam, kde je možné stanovit kvantitativní hodnoty.

4.1.5 Popis zkoušky

Pro každou zkoušku musí být stanoven zkušební plán. Ten obsahuje popis zkoušky, zkušební metodu a odkaz na normu.

4.2 Požadavek na odolnost

4.2.1 Podmínky během zkoušky

Konfigurace a režim provozu během zkoušky musí být zaznamenán ve zkušebním protokolu. Zkouška se musí provádět dle předepsané normy. Zkouška se provádí jedna po druhé dle stanoveného plánu. Během zkoušky se dbá na bezpečnost práce. Zkouška se provádí na příslušné vstupy/výstupy.

4.3 Výsledky zkoušky a měřící protokol

Výsledkem zkoušky je protokol, který musí obsahovat seznam použitých přístrojů, aby se dala v případě nutnosti zkouška zopakovat. Protokol musí minimálně obsahovat:

- popis zkoušeného zařízení;
- zkušební plán EMC;
- požadavky zkoušky;
- funkční kritérium;
- zkušební data a výsledky.

5 Zkušební plán EMC

5.1 Úvod

Požadavkem zkoušky je zjistit odolnost elektrického zařízení vůči elektromagnetickému rušení. Zařízení je určeno převážně pro výdej jídel ve stravovacích provozech, zkouška bude provedena dle požadavku kmenové normy ČSN EN 61000-6-1. Pro porovnání dvou pracovišť je vhodné mít dostatečné množství zkoušek, proto měření doplníme o normu ČSN EN 61000-6-2. Z norem jsou vybrány jen ty zkoušky, které lze provést v navržené laboratoři, a to jsou:

ČSN EN 61000-4-2;

ČSN EN 61000-4-4;

ČSN EN 61000-4-5;

ČSN EN 61000-4-11.

5.2 Klimatické podmínky

- okolní teplota $23\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$
- relativní vlhkost $40\% \pm 20\%$ r. v.

5.3 Popis zařízení

Terminál je vybaven čtyřmi tlačítky a hlasitým zvukovým výstupem. Může být vybaven hlasovým výstupem pro externí reproduktory. Čtečka karet může být namontována uvnitř nebo externě ve vzdálenosti několika metrů. Čtečka je napájena z adaptéru AC/DC 9 V/700 mA. Přenos dat pomocí LAN konektoru.

5.4 Zkoušky odolnosti

5.4.1 Odolnost vůči elektrostatickým výbojům ČSN EN 61000-4-2

5.4.1.1 Sestava zkušebního zařízení

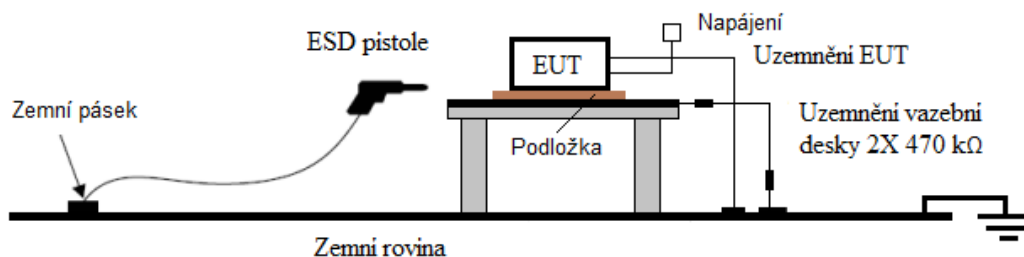
Pracoviště je navrženo a sestaveno dle normy ČSN EN 61000-4-2.

- referenční zemní rovina 2600 x 1800 mm (nerez 1 mm);
- horizontální vazební deska 1600 x 800 mm (nerez 1mm);
- dřevěný stůl 1800 x 800 mm, výška 800 mm (dřevo dub);
- 2krát kabel s rezistorem 470 k Ω ;

- izolační podložka 1000 x 600 x 5 mm (technický plast ERTALON 6 SA);
- ESD pistole EM TEST DITO SET.

5.4.1.2 Schéma pracoviště

Schéma pracoviště pro provedení zkoušky elektrostatickým výbojem je uvedeno na Obr. 18.



Obr. 18 Zkušební sestava zařízení umístěná na stole.

5.4.1.3 Zkušební úrovně napětí

Testovací úroveň napětí pro kontaktní a vzduchový výboj je stanovena normou ČSN EN 61000-6-2.

Tab. 8 Aplikace vzduchovým výbojem do čtyř míst.

Úroveň/Napětí [kV]	1/8		2/15		Přípustné kritérium
Místo aplikace/polarita	+	-	+	-	
Tlačítka	A	A	A	A	B
Vstup katry	A	A	A	C	B
Reproduktor	A	A	C	B	B
Napájecí konektor + LAN	A	A	C	B	B
Poznámka: B - bliknutí displeje C - zařízení nereaguje, musí se vypnout/zapnout					

Tab. 9 Aplikace vazební deskou.

Úroveň/Napětí [kV]	1/4		2/6		3/8		Připustné kritérium
Místo aplikace/polarita	+	-	+	-	+	-	
Vodorovná deska	A	A	B	B	A	B	B
Svislá deska: shora	A	A	A	A	A	A	B
Svislá deska: zprava	A	A	B	B	C	B	B
Poznámka: B - akustická signalizace C - zařízení nereaguje, musí se vypnout/zapnout							

5.4.1.4 Postup

Zkušební postup musí být následující:

- zapojení pracoviště dle ČSN EN 61000-4-2 je uvedeno na Obr. 18;
- vyznačit testované body ve výkresu nebo na fotografii;
- zapnout zařízení a vyčkat odpovídající dobu pro ustálení parametrů;
- zkouška kontaktním výbojem se provádí hrotem ESD pistole do vazební desky. Na ESD pistoli postupně měníme úroveň a polaritu napětí dle protokolu. Pro každou úroveň se provede deset výbojů s kladnou a deset výbojů se zápornou polaritou s časovým intervalem mezi výboji 1 s. Mezi každou úrovní napětí se ověřuje funkčnost zkoušeného zařízení a musí se zaznamenat všechny poruchy nebo zhoršení funkce a vyšetřit, zda se jedná o přechodnou nebo trvalou poruchu;
- při zkoušce vzduchovou mezerou se generátor (ESD pistole) nastaví dle požadavku protokolu a postupuje se stejně jako v předchozím kroku. Vybíjecí hrot se musí pomalu přibližovat ke zkušebnímu prostoru. Operátor musí sledovat všechny viditelné výboje, a pokud dojde k ovlivnění zařízení, musí jej zaznamenat do zkušebního protokolu.

5.4.1.5 Vyhodnocení zkoušky

Výrobce zkoušeného zařízení nestanovuje specifická kritéria pro hodnocení provedené zkoušky, a proto platí obecná kritéria hodnocení zkoušky dle kmenové normy ČSN EN 61000-6-2 odstavec 4. Výsledek zkoušky je zaznamenán do protokolu měření.

5.4.2 Odolnost vůči nízkoenergetickým impulzům ČSN EN 61000-4-4

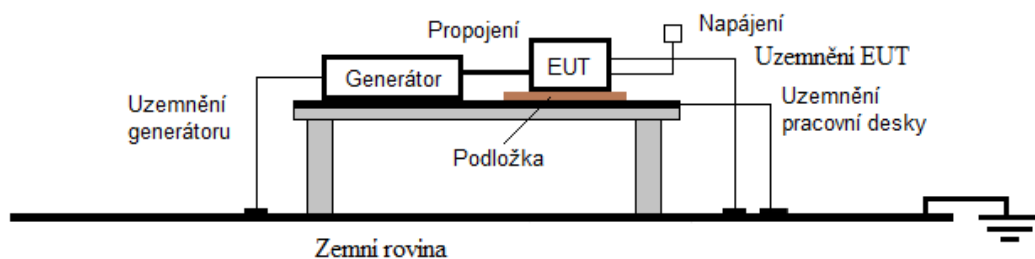
5.4.2.1 Sestava zkušebního zařízení

Pracoviště je navrženo a sestaveno dle normy ČSN EN 61000-4-4.

- izolační podložka o tloušťce 0,1 m;
- multifunkční generátor Compact NX5;
- kapacitní kleště CA HFK;
- kalibrační CA EFT KIT (50R a 1000R);
- osciloskop.

5.4.2.2 Schéma pracoviště

Schéma pracoviště pro provedení zkoušky nízkoenergetickým impulzem je uvedeno na Obr. 19.



Obr. 19 Zkušební sestava zařízení umístěná na stole.

5.4.2.3 Zkušební úrovně napětí

Testovací úroveň napětí a jemu odpovídající opakovací kmitočet se určí z norem ČSN EN 61000-6-1 a 2.

Tab. 10 Zkušební úrovně pro AC napájení.

Úroveň	Vstupy/výstupy napájení			Výsledek		Přípustné kritérium
	Napětí [±kV]	Kmitočet [kHz]	Tr/Th [ns]			
				1	1	
2	2	5	5/50	C	C	B
3	3	5	5/50	C	C	B

Tab. 11 Zkušební úrovně pro vstup/výstup svorkami signálů.

Úroveň	Signálové a ovládací vstupy/výstupy			Výsledek		Přípustné kritérium
	Napětí [±kV]	Kmitočet [kHz]	Tr/Th [ns]			
				1	0,5	
2	1	5	5/50	B	C	B
3	2	5	5/50	C	C	B

5.4.2.4 Postup

Zkušební postup musí být následující:

- zapojení pracoviště dle ČSN EN 61000-4-4 je uvedeno na Obr. 19;
- zapnout měřicí zařízení a vyčkat odpovídající dobu pro ustálení parametrů;
- provést kalibraci generátoru Compact NX5 dle 5.4.2.5;
- provést kalibraci kapacitní kleštiny CA HFK dle 5.4.2.6;
- nejprve se provede zkouška tak, že se adaptér AC/DC zapojí na přední výstup generátoru;
- nastavit generátor dle Tab. 10 a spustit test;
- pokaždé úrovni ověřit funkci zařízení;
- AC/DC adaptér zapojit do síťové zásuvky a signálové vodiče se vloží do kapacitní vazby (HFK), generátor s kapacitní vazbou propojit pomocí koaxiálního kabelu;
- nastavit generátor dle Tab. 11 a spustit test;
- pokaždé úrovni ověřit funkci zařízení;

- zaznamenávat výsledky měření, všechny poruchy nebo zhoršení funkce do protokolu.

5.4.2.5 Kalibrace generátoru

Pro ověření správné funkce zkušebního generátoru impulzů se musí provést kalibrace dle postupu normy ČSN EN 61000-4-4.

Na koaxiální výstup generátoru se připojí průchozí zátěž 50Ω . Na jejím výstupu se měří napětí pomocí osciloskopu, jehož šířka pásma musí být alespoň 400 MHz. Sestava je na Obr. 22.

Impedance zkušební zátěže je:

- $50 \pm 1 \Omega$;

Tolerance vloženého útlumu obou zátěží nesmí překročit úroveň:

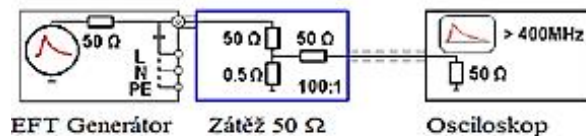
- ± 1 dB až do 100 MHz;

Musí se změřit:

- vrcholové napětí;
 - na generátoru nastavíme výstupní napětí dle tabulky 3, výstupní napětí [Vp (50 Ω) kV] se zátěží 50Ω musí být v toleranci ± 10 %;
- doba náběhu nastavených napětí;
- šířka impulzů nastavených napětí;
- kmitočet opakovacích impulzů pro každé napětí;
- doba trvání skupin impulzů pro každé napětí;
- perioda skupin impulzů pro každé napětí.

Tab. 12 Vrcholové hodnoty a kmitočty opakování výstupního napájení. [8]

Napětí [±kV]	V _p (naprázdno) [±kV]	V _p (1000 Ω) [±kV]	V _p (50 Ω) [±kV]	Kmitočet [kHz]
0,25	0,25	0,24	0,125	5 nebo 100
0,5	0,5	0,48	0,25	5 nebo 100
1	1	0,95	0,5	5 nebo 100
2	2	1,9	1	5 nebo 100
4	4	3,8	2	5 nebo 100

**Obr. 20** Kalibrace generátoru Compact NX5 se zátěží 50 Ω.

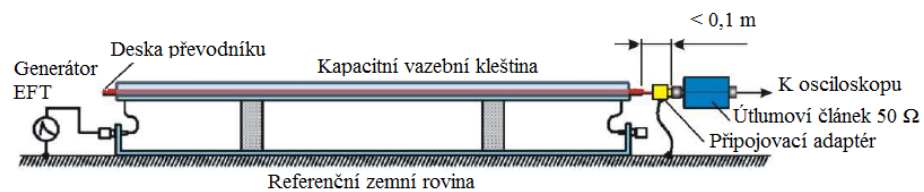
5.4.2.6 Kalibrace kapacitních vazebních kleští

Pomocí měřicího generátoru a osciloskopu se kalibruje kapacitní kleština. Kleština se propojí s generátorem pomocí krátkého koaxiálního kabelu. Deska převodníku je z kovového plechu o rozměrech 120 mm x 1050 mm a maximální tloušťce 0,5 mm. Aby nedošlo k vodivému spojení desky s kleštinou, je deska z obou stran izolována pomocí dielektrického listu 0,5 mm. Izolační pevnost musí být nejméně 2,5 kV. Jedna strana desky je vybavená přípojovacím adaptérem. Ten se přizemní k referenční zemní rovině a na jeho výstup se připojí

útlumový článek 50Ω ve vzdálenosti nejméně 0,1 m. Osciloskopem se měří tvar vlny. Sestava je na Obr. 21.

Tvar vlny musí mít následující průběh:

- doba náběhu t_r $5 \text{ ns} \pm 1,5 \text{ ns}$;
- šířka impulzu t_d $50 \text{ ns} \pm 15 \text{ ns}$;
- špička napětí $1000 \text{ V} \pm 200 \text{ V}$.



Obr. 21 Schéma zapojení kapacitní kleštiny. [8]

5.4.2.7 Vyhodnocení zkoušky

Výrobce zkoušeného zařízení nestanovuje specifická kritéria pro hodnocení provedené zkoušky, a proto platí obecná kritéria hodnocení zkoušky dle kmenové normy ČSN EN 61000-6-2 odstavec 4. Výsledek zkoušky je zaznamenán do protokolu měření.

5.4.3 Odolnost vůči vysokoenergetickým impulzům ČSN EN 61000-4-5

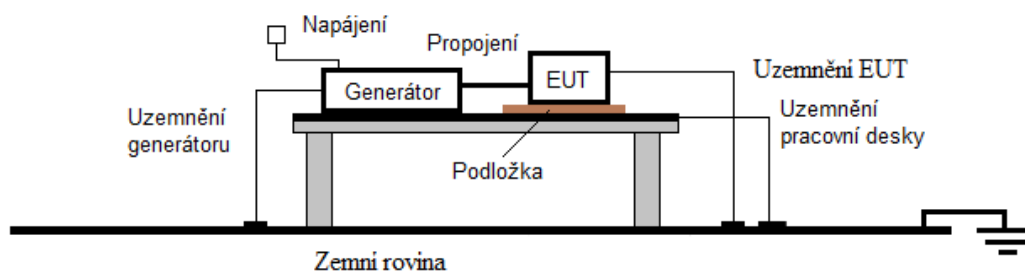
5.4.3.1 Sestava zkušebního zařízení

Pracoviště je navrženo a sestaveno dle normy ČSN EN 61000-4-5.

- izolační podložka o tloušťce 0,1 m;
- multifunkční generátor Compact NX5.

5.4.3.2 Schéma pracoviště

Schéma pracoviště pro provedení zkoušky vysokoenergetickým impulzem je uvedeno na Obr. 22.



Obr. 22 Zkušební sestava zařízení umístěná na stole.

5.4.3.3 Zkušební úrovně napětí

Testovací úroveň napětí se určí z normy ČSN EN 61000-6-1. Zkoušku provést pouze pro úhel 0° , vlivem častého namáhání zařízení by mohlo dojít k jeho poškození. Zařízení slouží jako zkušební přípravek pro laboratorní cvičení.

Tab. 13 Zkušební úrovně pro AC napájení.

Vodič proti vodiči (L – N)	Úroveň	Úhel [°]	Napětí [\pm kV]	Tr/Th [ns]	Výsledek		Přípustné kritérium
					+	-	
	1	0	0,5	1,2/50	A	A	B
	2	0	1	1,2/50	A	A	B

5.4.3.4 Postup

Zkušební postup musí být následující:

- zapojení pracoviště dle ČSN EN 61000-4-5 je uvedeno na Obr. 22;
- zapnout měřicí zařízení a vyčkat odpovídající dobu pro ustálení parametrů;
- adaptér AC/DC zapojit na přední výstup generátoru;
- nastavit generátor dle Tab. 13 a spustit test;
- pokaždé úrovní ověřit funkci zařízení;
- zaznamenávat výsledky měření, všechny poruchy nebo zhoršení funkce do protokolu.

5.4.3.5 Vyhodnocení zkoušky

Výrobce zkoušeného zařízení nestanovuje specifická kritéria pro hodnocení provedené zkoušky, a proto platí obecná kritéria hodnocení zkoušky dle kmenové normy ČSN EN 61000-6-2 odstavec 4. Výsledek zkoušky je zaznamenán do protokolu měření.

5.4.4 Odolnost vůči krátkodobým poklesům napětí ČSN EN 61000-4-11

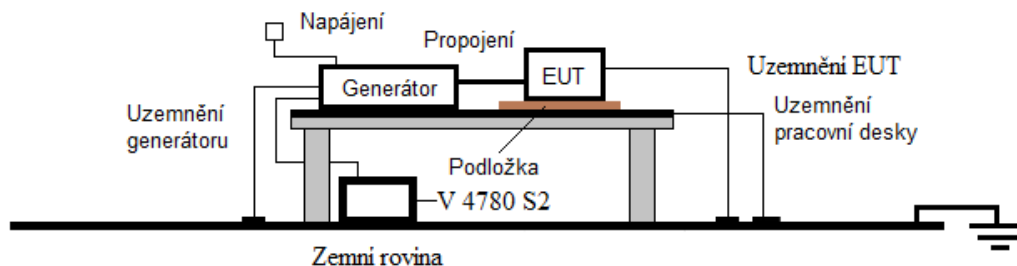
5.4.4.1 Sestava zkušebního zařízení

Pracoviště je navrženo a sestaveno dle normy ČSN EN 61000-4-11.

- izolační podložka o tloušťce 0,1 m;
- multifunkční generátor Compact NX5;
- autotransformátor V 4780 S2.

5.4.4.2 Schéma pracoviště

Schéma pracoviště pro provedení zkoušky krátkodobým poklesem napětí je uvedeno na Obr. 23.



Obr. 23 Zkušební sestava zařízení umístěná na stole.

5.4.4.3 Zkušební úrovně napětí

Testovací úroveň napětí se určí z normy ČSN EN 61000-6-2.

Tab. 14 Zkušební úrovně pro AC napájení.

	Úroveň	Zbytkové napětí v %	Perioda	Výsledek	Přípustné kritérium
Pokles napětí	1	0	0,5	B	B
	2	0	1	B	B
	3	40	10	B	C
	4	70	25	B	C

Tab. 15 Zkušební úrovně pro AC napájení.

Přerušení napětí	Úroveň	Zbytkové napětí v %	Perioda	Výsledek	Přípustné kritérium
	1	0	250	B	B

5.4.4.4 Postup

Zkušební postup musí být následující:

- zapojení pracoviště dle ČSN EN 61000-4-11 je uvedeno na Obr. 23;
- multifunkční generátor Compact NX5 propojit s autotransfornátorem V 4780 S2
- zapnout měřicí zařízení a vyčkat odpovídající dobu pro ustálení parametrů;
- adaptér AC/DC zapojit na přední výstup generátoru;
- nastavit generátor dle Tab. 14 a spustit test;
- pokaždé úrovní ověřit funkci zařízení;
- zaznamenávat výsledky měření, všechny poruchy nebo zhoršení funkce do protokolu;
- nastavit generátor dle Tab. 15 a spustit test;
- pokaždé úrovní ověřit funkci zařízení;
- zaznamenávat výsledky měření, všechny poruchy nebo zhoršení funkce do protokolu.

5.4.4.5 Vyhodnocení zkoušky

Výrobce zkoušeného zařízení nestanovuje specifická kritéria pro hodnocení provedené zkoušky, a proto platí obecná kritéria hodnocení zkoušky dle kmenové normy ČSN EN 61000-6-2 odstavec 4. Výsledek zkoušky je zaznamenán do protokolu měření.

6 Protokol

	Číslo protokolu: 001 Počet stran: 5
PROTOKOL O ZKOUŠCE ODOLNOSTI NA EMC PŘEDCERTIFIKAČNÍ PROTOKOL	
Jméno a adresa zákazníka	Eurospad, s.r.o. Poděbradská 186 198 00 Praha 9
Předmět zkoušky	Terminál magnetických karet
Model/typ	TS90
Výrobní číslo	1129
Výrobce	Elektronik, s.r.o.
Datum přijetí předmětu	12.04.2017
Datum provedení zkoušek	15.04.2017
Datum vydání protokolu	16.04.2017
Vedoucí zkušebny	Martin Cwieneczek
Zkoušku provedl	Martin Cwieneczek
Místo provedení zkoušek	EMC laboratoř
Seznam zkoušek	Zkouška dle: ČSN EN 61000-6-1 /2 ČSN EN 61000-4-2, ed.2:2009 ČSN EN 61000-4-4, ed.2:2005+A1:2010 ČSN EN 61000-4-5, ed.2:2007 ČSN EN 61000-4-11, ed.2:2005

Seznam použitých přístrojů a zařízení:

Simulátor elektrostatických výbojů dle ČSN EN 61000-4-2, typ DITO, v. č. P1527160062

Simulátor rušení dle ČSN EN 61000-4-4 a 11, typ Compact NX5, v. č. P1536163737

Autotransfórmátor dle ČSN EN 61000-4-11, V 4780 S2, v. č. P2597631863

Kapacitní kleština dle ČSN EN 61000-4-4, typ HFK, v. č. P1626181262

Kalibrační kyt, typ PVF BKIT, v. č. P1522157278

Osciloskop dle ČSN EN 61000-4-4, typ HMO4020, v. č. 1586937590

Zkoušky odolnosti

Testování odolnosti proti elektromagnetickému rušení se u zkoušeného zařízení orientovala na:

- test odolnosti proti elektrostatickému výboji dle ČSN EN 61000-4-2, ed.2:2009;
- test odolnosti vůči elektrickému rychlému přechodovému jevu rušení v napájecích a signálových vodičích dle ČSN EN 61000-4-4, ed.2:2005+A1:2010;
- test odolnosti proti rázovému impulzu dle ČSN EN 61000-4-5, ed.2:2007;
- test odolnosti proti krátkodobému poklesu napětí ČSN EN 61000-4-11, ed.2:2005.

Zkoušky byly vyhodnoceny podle těchto kritérií:

- kritérium A – Zařízení musí během zkoušky pracovat dle svého určení. Není žádoucí zhoršení činnosti ani ztráta jeho funkce.
- kritérium B – Po skončení zkoušky musí zařízení pracovat dle svého určení. Při průběhu zkoušky je možné zaznamenat zhoršení činnosti zařízení, nesmí však být změněn jeho provozní stav ani data v paměti. Po ukončení zkoušky není povoleno žádné zhoršení činnosti ani ztráta jeho funkce.
- kritérium C – Po skončení zkoušky zařízení ztratilo svoji funkci, funkce se sama neobnovila, pro obnovu činnosti je nutný zásah operátora.

6.1 Test odolnosti

6.1.1 Test odolnosti proti elektrostatickému výboji

Test vychází z ustanovení normy ČSN EN 61000-4-2, ed.2:2009.

- a) aplikace vzduchovým výbojem. Signál byl aplikován na pět míst dle Obr. 24 s těmito výsledky:

Tab. 16 Vzduchový výboj.

Dle normy	ČSN EN 61000-6-2			
	1/8		2/15	
Úroveň/Napětí [kV]				
Místo aplikace/polarita	+	-	+	-
Tlačítka	A	A	A	A
Vstup karty	A	A	A	C
Reproduktor	A	A	C	B
Napájecí konektor	A	A	C	B



Obr. 24 Vyznačené body pro testování.

- b) aplikace vazební deskou. Rušivý signál byl aplikován z různých směrů s těmito výsledky:

Tab. 17 Kontaktní výboj.

Dle normy	ČSN EN 61000-6-2					
	¼		2/6		3/8	
Úroveň/Napětí [kV]						
Místo aplikace/polarita	+	-	+	-	+	-
Vodorovná deska	A	A	B	B	A	B
Svislá deska: shora	A	A	A	A	A	A
Svislá deska: zprava	A	A	B	B	B	B

6.1.2 Test odolnosti zařízení vůči elektrickému rychlému přechodovému jevu

Test vychází z ustanovení normy ČSN EN 61000-4-4, ed.2:2005+A1:2010. Hodnoty rušení byly stanoveny po dohodě s výrobcem a v souladu s normou. Signál byl aplikován po dobu jedné minuty s opakovací frekvencí pulzu ve skupině 5 kHz, doba trvání 15 ms a s opakovací periodou skupiny pulzů 300 ms. Rušivý signál byl aplikován do adaptéru AC/DC. Výsledky jsou shrnuty v následujících tabulkách:

Tab. 18 Napájení 230 V AC.

Aplikováno do vodičů (L – N)	Úroveň	Napětí [kV]	Polarita +	Polarita -	Dle normy
	1	1	A	A	ČSN EN 61000-6-1
	2	2	C	C	ČSN EN 61000-6-2
	3	3	C	C	

Tab. 19 Datový kabel LAN.

Aplikováno do LAN kabelu kleštinou	Úroveň	Napětí [kV]	Polarita +	Polarita -	Dle normy
	1	0,5	A	A	ČSN EN 61000-6-1
	2	1	B	C	ČSN EN 61000-6-2
	3	2	C	C	

6.1.3 Test odolnosti zařízení vůči rázovému impulzu

Test odolnosti vychází z ustanovení normy ČSN EN 61000-4-5, ed.2:2007. Signál předepsaného tvaru a amplitudy byl aplikován 5krát do napájecího adaptéru AC/DC. Výsledky jsou shrnuty v následujících tabulkách:

Tab. 20 Napětí 230 V AC.

Aplikováno do vodičů (L – N)	Úroveň	Napětí [kV]	Úhel [°]	Polarita +	Polarita -	Dle normy
	1	0,5	0	A	A	ČSN EN 61000-6-1
	2	1	0	A	A	

6.1.4 Test odolnosti zařízení proti krátkodobému poklesu napětí

Test odolnosti vychází z ustanovení normy ČSN EN 61000-4-11, ed.2:2005

Tab. 21 Krátkodobý pokles napětí 230 V AC.

	Úroveň	Zbytkové napětí v %	Perioda	Výsledek	Dle normy
Pokles napětí	1	0	0,5	B	ČSN EN 61000-6-1
	2	0	1	B	ČSN EN 61000-6-1
	3	40	10	B	ČSN EN 61000-6-2
	4	70	25	B	ČSN EN 61000-6-1

Tab. 22 Krátkodobé přerušení napětí 230 V AC.

Přerušení napětí	Úroveň	Zbytkové napětí v %	Perioda	Výsledek	Dle normy
	1	0	250	B	ČSN EN 61000-6-2

6.2 Výsledky zkoušek

Protokol slouží pro porovnání výsledků měření dvou EMC laboratořmi. Testované zařízení bylo přeměřeno pro prostředí obytné, obchodní a lehký průmysl dle kmenové normy ČSN EN 61000-6-1. Pro získání většího počtu měřicích hodnot bylo zařízení přeměřeno dle kmenové normy ČSN EN 61000-6-2.

7 Závěr

Vzhledem k tomu, že zkoušek je celá řada, cenové náklady na přístrojové vybavení není malé, zvolili jsme jen ty nejčastější a cenově dostupné. Laboratoř je navržena tak, aby se dalo provést co nejvíce zkoušek s malým počtem přístrojů. Základním vybavením laboratoře je referenční zemní rovina, dřevěný stůl a kombinovaný generátor. Tímto vybavením je možné provést zkoušku odolnosti na rychlé elektrické přechodové jevy a zkoušku rázovým impulzem. Pro zkoušku elektrostatickým výbojem je laboratoř dovybavená ESD pistolí, vazebními deskami uzemněnými přes dva odpory v sérii a izolační podložkou. Na zkoušku odolnosti vůči krátkodobým poklesům a výpadkům napětí je v laboratoři kromě kombinovaného generátoru ještě regulovatelný autotransformátor. V laboratoři se dají provést čtyři zkoušky odolnosti dle požadavků norem. Po zakoupení induktivní smyčky a proudového transformátoru by se pracoviště rozšířilo ještě o zkoušku odolnosti vůči pulzům magnetického pole a zkoušku odolnosti zařízení proti magnetickému poli o síťovém kmitočtu.

V závěru práce je vytvořen zkušební plán, který je návodem pro jednotlivé zkoušky odolnosti, a protokol, který dále poslouží jako formulář pro záznam údajů o testovaném zařízení a o parametrech a výsledcích jednotlivých testů. Pro ověření funkčnosti nově vybudované EMC laboratoře byla provedena praktická zkouška na čtečce karet v akreditované laboratoři na Fakultě elektrotechnické, Katedře elektroenergetiky a ekologie ZČU v Plzni. Poté bylo zařízení podrobena stejným zkouškám odolnosti v nově vybudované laboratoři a proběhlo porovnání výsledků.

Jednotlivé zkoušky odolnosti proběhly se stejným výsledkem až na zkoušku odolnosti vůči rychlým přechodovým jevům/skupinám impulzů, kde zařízení v nové laboratoři ztratilo svoji funkci při úrovni napětí 2 kV v obou polaritách. Druhý rozdíl byl rovněž v nové laboratoři při měření pomocí kapacitní kleštiny, kdy zařízení ztratilo funkci při napětí 1 kV se zápornou polaritou. Rozdílné výsledky mohou být způsobeny tím, že čtečka se používá jako cvičné zařízení pro laboratorní úlohy a s přibývajícím počtem provedených zkoušek klesá spolehlivost zařízení.

Výsledkem měření je, že zařízení v obou laboratořích splnilo požadované zkoušky odolnosti. Nová EMC laboratoř pro předcertifikační měření je tedy plně funkční a splňuje kritéria požadavků norem.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] ENCYKLOPEDIE EMC. *Encyklopedie elektromagnetické kompatibility*. [online]. 2009 [cit. 2013-02-10]. Dostupné z: <http://www.radio.feec.vutbr.cz/emc/index.php?src=node64>
- [2] VONES, Václav. *Elekrotechnické normy a předpisy*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2009. ISBN 978-80-7043-783-4.
- [3] KODALI, V. *Engineeringelectromagneticcompatibility: principles, measurements, and technologies*. New York: IEEE Press, 1996, 369 s. ISBN 07-803-1117-5.
- [4] QMPROFI. *Novinky v zákoně - vládní návrh. Qmprofi.cz* [online]. 1997 - 2013 [cit. 2013-05-24]. Dostupné z: http://www.qmprofi.cz/novinky-v-zakone-c-22-1997-sb-vladni-navrh-zakona-/uniqueidgOkE4NvrWuOKaQDKuox_ZwEnPQ2BCvWhpA7ZLXn6iAo
- [5] DŘÍNOVSKÝ, FRÝZA, SVAČINA, KEJÍK a RŮŽEK. *Encyklopedie elektromagnetické kompatibility*. Brno: UREL, 201, 280s.
- [6] CHATTERTON, Paul A a Michael A HOULDEN. *EMC: Electromagnetictheory to practical design*. Chichester: Wiley, c1992, 295 s. ISBN 04-719-2878-X.
- [7] ČSN EN 61000-4-2 ed. 2. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-2. Elektrostatický výboj - zkouška odolnosti*. Praha: ČNI, 2008.
- [8] ČSN EN 61000-4-4 ed. 3. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-4. Zkušební a měřicí technika-Rychlé elektrické přechodové jevy/skupiny impulzů – Zkouška odolnosti*. Praha: ČNI, 2013.
- [9] ČSN EN 61000-4-5 ed. 3. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-5. Zkušební a měřicí technika - rázový impulz - zkouška odolnosti*. Praha: ČNI, 2014
- [10] ČSN EN 61000-4-8 ed. 2 *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-8. Zkušební a měřicí technika – Magnetické pole síťového kmitočtu – zkouška odolnosti*. Praha: ČNI, 2010.
- [11] ČSN EN 61000-4-11ed. 2. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-11: Zkušební a měřicí technika Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí - Zkoušky odolnosti*. Praha: ČNI, 2005.
- [12] ČSN EN 61000-6-2 ed. 3. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 6-2. Kmenové normy - Odolnost pro průmyslové prostředí*. Praha: ČNI, 2005.
- [13] ČSN EN 61000-6-1 ed. 2. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) -Část 6-3 Kmenové normy - Emise - Prostředí obytné, obchodní a lehkého průmysl*. Praha: ČNI, 2007.

Seznam obrázků

Obr. 1 EMC úrovně. [1].....	13
Obr. 2 Obecné schéma EMC řetězce. [1]	14
Obr. 3 Pistole ESD. [1]	21
Obr. 4 Zjednodušené schéma generátoru. [7]	22
Obr. 5 Definovaný tvar impulzu proudu z generátoru. [5]	23
Obr. 6 Zkušební sestava zařízení umístěného na stole. [7].....	24
Obr. 7 Zjednodušené schéma generátoru impulzů. [8].....	26
Obr. 8 Znázornění elektrického rychlého přechodového impulzu. [1].....	27
Obr. 9 Vazební/oddělovací síť pro síťové napájení AC/DC. [8].....	28
Obr. 10 Blokové schéma pro zkoušku rychlých přechodných jevů. [8].....	29
Obr. 11 Zkušební signál rázového impulzu a) napětí b) proudu. [1].....	30
Obr. 12 Indukční cívka pro zkoušky malého objektu. [5]	31
Obr. 13 Krátkodobý pokles napětí – průběh sinusoidy na 70 %. [11].....	33
Obr. 14 Krátkodobý pokles napětí – průběh efektivní hodnoty na 40 %. [11].....	34
Obr. 15 Krátké přerušení. [11].....	34
Obr. 16 Návrh EMC laboratoře.	37
Obr. 17 Navržená EMC laboratoř.....	37
Obr. 18 Zkušební sestava zařízení umístěná na stole.	42
Obr. 19 Zkušební sestava zařízení umístěná na stole.	44
Obr. 20 Kalibrace generátoru Compact NX5 se zátěží 50 Ω	47
Obr. 21 Schéma zapojení kapacitní kleštiny. [8]	48
Obr. 22 Zkušební sestava zařízení umístěná na stole.	49
Obr. 23 Zkušební sestava zařízení umístěná na stole.	50
Obr. 24 Vyznačené body pro testování.....	54

Seznam tabulek

Tab. 1 Úroveň zkoušeného napětí. [7].....	22
Tab. 2 Zkušební úrovně. [8].....	25
Tab. 3 Tvar vlny impulzu. [8].....	26
Tab. 4 Zkušební úrovně. [9].....	30
Tab. 5 Zkušební úrovně a doby trvání pro krátkodobé poklesy napětí. [11].....	33

Tab. 6 Zkušební úrovně a doby trvání pro krátkodobá přerušení napětí. [11].....	33
Tab. 7 Časové hodnoty krátkodobých pomalých změn síťových napětí. [11]	34
Tab. 8 Aplikace vzduchovým výbojem do čtyř míst.	42
Tab. 9 Aplikace vazební deskou.	43
Tab. 10 Zkušební úrovně pro AC napájení.	45
Tab. 11 Zkušební úrovně pro vstup/výstup svorkami signálů.	45
Tab. 12 Vrcholové hodnoty a kmitočty opakování výstupního napájení. [8].....	47
Tab. 13 Zkušební úrovně pro AC napájení.	49
Tab. 14 Zkušební úrovně pro AC napájení.	50
Tab. 15 Zkušební úrovně pro AC napájení.	51
Tab. 16 Vzduchový výboj.....	54
Tab. 17 Kontaktní výboj.	55
Tab. 18 Napájení 230 V AC.	55
Tab. 19 Datový kabel LAN.....	55
Tab. 20 Napětí 230 V AC.	56
Tab. 21 Krátkodobý pokles napětí 230 V AC.	56
Tab. 22 Krátkodobé přerušení napětí 230 V AC.	56

Příloha

Příloha A – Protokol měření v akreditované EMC laboratoři na Fakultě elektrotechnické, Katedře elektroenergetiky a ekologie ZČU v Plzni.

Protokol

	Číslo protokolu: 002 Počet stran: 5
PROTOKOL O ZKOUŠCE ODOLNOSTI NA EMC PŘEDCERTIFIKAČNÍ PROTOKOL	
Jméno a adresa zákazníka	Eurospad, s.r.o. Poděbradská 186 198 00 Praha 9
Předmět zkoušky	Terminál magnetických karet
Model/typ	TS90
Výrobní číslo	1129
Výrobce	Elektronik, s.r.o.
Datum přijetí předmětu	12.03.2017
Datum provedení zkoušek	15.03.2017
Datum vydání protokolu	16.03.2017
Vedoucí zkušebny	Doc. Ing. Jiří Laurenc, CSc.
Zkoušku provedl	Ing. Miroslav Hromádka, Ph.D.
Místo provedení zkoušek	EMC laboratoř, Západočeská univerzita v Plzni
Seznam zkoušek	Zkouška dle: ČSN EN 61000-6-1 /2 ČSN EN 61000-4-2, ed.2:2009 ČSN EN 61000-4-4, ed.2:2005+A1:2010 ČSN EN 61000-4-5, ed.2:2007 ČSN EN 61000-4-11, ed.2:2005

Seznam použitých přístrojů a zařízení:

Simulátor elektrostatických výbojů dle ČSN EN 61000-4-2, typ ESD 30, v. č. 10 568

Simulátor rušení dle ČSN EN 61000-4-4, 5 a 11, typ UCS 500-M4, v. č. 0402-37

Autotransformátor dle ČSN EN 61000-4-11, typ MV 2616, v. č. 1101-16

Kapacitní kleština dle ČSN EN 61000-4-4, typ HFK, v. č. 6895-31

Zkoušky odolnosti

Testování odolnosti proti elektromagnetickému rušení se u zkoušeného zařízení orientovala na:

- test odolnosti proti elektrostatickému výboji dle ČSN EN 61000-4-2, ed.2:2009;
- test odolnosti vůči elektrickému rychlému přechodovému jevu rušení v napájecích a signálových vodičích dle ČSN EN 61000-4-4, ed.2:2005+A1:2010;
- test odolnosti proti rázovému impulzu dle ČSN EN 61000-4-5, ed.2:2007;
- test odolnosti proti krátkodobému poklesu napětí ČSN EN 61000-4-11, ed.2:2005;

Zkoušky byly vyhodnoceny podle těchto kritérií:

- kritérium A – Zařízení musí během zkoušky pracovat dle svého určení. Není žádoucí zhoršení činnosti ani ztráta jeho funkce.
- kritérium B – Po skončení zkoušky musí zařízení pracovat dle svého určení. Při průběhu zkoušky je možné zaznamenat zhoršení činnosti zařízení, nesmí však být změněn jeho provozní stav ani data v paměti. Po ukončení zkoušky není povoleno žádné zhoršení činnosti ani ztráta jeho funkce.
- kritérium C – Po skončení zkoušky zařízení ztratilo svoji funkci, funkce se sama neobnovila, pro obnovu činnosti je nutný zásah operátora.

1 Test odolnosti

1.1 Test odolnosti proti elektrostatickému výboji

Test vychází z ustanovení normy ČSN EN 61000-4-2, ed.2:2009.

- a) aplikace vzduchovým výbojem. Signál byl aplikován na pět míst dle Obr. AP 1 s těmito výsledky:

Tab. AP 1 Vzduchový výboj.

Dle normy	ČSN EN 61000-6-2			
	1/8		2/15	
Úroveň/Napětí [kV]				
Místo aplikace/polarita	+	-	+	-
Tlačítka	A	A	A	A
Vstup karty	A	A	A	B
Reproduktor	A	A	B	B
Napájecí konektor	A	A	C	C



Obr. AP1 Vyznačené body pro testování.

- b) aplikace vazební deskou. Rušivý signál byl aplikován z různých směrů s těmito výsledky:

Tab. AP 2 Kontaktní výboj.

Dle normy	ČSN EN 61000-6-2					
Úroveň/Napětí [kV]	1/4		2/6		3/8	
Místo aplikace/polarita	+	-	+	-	+	-
Vodorovná deska	A	A	C	C	A	B
Svislá deska: shora	A	A	A	A	A	A
Svislá deska: zprava	A	A	B	B	B	B

1.2 Test odolnosti zařízení vůči elektrickému rychlému přechodovému jevu

Test vychází z ustanovení normy ČSN EN 61000-4-4, ed.2:2005+A1:2010. Hodnoty rušení byly stanoveny po dohodě s výrobcem a v souladu s normou. Signál byl aplikován po dobu jedné minuty s opakovací frekvencí pulzu ve skupině 5 kHz, doba trvání 15 ms a s opakovací periodou skupiny pulzů 300 ms. Rušivý signál byl aplikován do adaptéru AC/DC. Výsledky jsou shrnuty v následujících tabulkách:

Tab. AP 3 Napájení 230 V AC.

	Úroveň	Napětí [kV]	Polarita +	Polarita -	Dle normy
Aplikováno do vodičů (L – N)	1	1	A	A	ČSN EN 61000-6-1
	2	2	C	A	ČSN EN 61000-6-2
	3	3	C	C	

Tab. AP 4 Datový kabel LAN.

	Úroveň	Napětí [kV]	Polarita +	Polarita -	Dle normy
Aplikováno do LAN kabelu Kleštinou	1	0,5	A	A	ČSN EN 61000-6-1
	2	1	B	B	ČSN EN 61000-6-2
	3	2	C	C	

1.3 Test odolnosti zařízení vůči rázovému impulzu

Test odolnosti vychází z ustanovení normy ČSN EN 61000-4-5, ed.2:2007. Signál předepsaného tvaru a amplitudy byl aplikován 5krát do napájecího adaptéru AC/DC. Výsledky jsou shrnuty v následujících tabulkách:

Tab. AP 5 Napětí 230 V AC.

Aplikováno do vodičů (L – N)	Úroveň	Napětí [kV]	Úhel	Polarita +	Polarita -	Dle normy
	1	0,5	0°	A	A	ČSN EN 61000-6-1
	2	1	0°	A	A	

1.4 Test odolnosti zařízení proti krátkodobému poklesu napětí

Test odolnosti vychází z ustanovení normy ČSN EN 61000-4-11, ed.2:2005

Tab. AP 6 Krátkodobý pokles napětí 230 V AC.

	Úroveň	Zbytkové napětí v %	Perioda	Výsledek	Dle normy
Pokles Napětí	1	0	0,5	B	ČSN EN 61000-6-1
	2	0	1	B	ČSN EN 61000-6-1
	3	40	10	B	ČSN EN 61000-6-2
	4	70	25	B	ČSN EN 61000-6-1

Tab. AP 7 Krátkodobé přerušení napětí 230 V AC.

Přerušení napětí	Úroveň	Zbytkové napětí v %	Perioda	Výsledek	Dle normy
	1	0	250	B	ČSN EN 61000-6-2

1.5 Výsledky zkoušek

Protokol slouží pro porovnání výsledků měření dvou EMC laboratořmi. Testované zařízení bylo přeměřeno pro prostředí obytné, obchodní a lehký průmysl dle kmenové normy ČSN EN 61000-6-1. Pro získání většího počtu měřicích hodnot bylo zařízení přeměřeno dle kmenové normy ČSN EN 61000-6-2.